ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ
РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ

ЕЖЕКВАРТАЛЬНОЕ ОФИЦИАЛЬНОЕ ИЗДАНИЕ САРАТОВСКОГО
ОТДЕЛЕНИЯ ЕВРО-АЗИАТСКОГО ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

АПРЕЛЬ-ИЮНЬ
02/2005

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИСТОЧНИКИ

Енисей

ОТ КОМПАНИИ "ЕНИСЕЙГЕОФИЗИКА"

СПЕЦВЫПУСК

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

ЕНИСЕЙГЕОФИЗИКА

Сейсмические источники для любых условий:

- СЭМ
- КЭМ
- ВЭМ

Наши партнеры всегда в плюсе!

ОАО «ЕНИСЕЙГЕОФИЗИКА»
663180, Красноярский край, г. Енисейск,
ул. Кирова, 91
тел.: 8 (39115) 2-21-63
тел./факс: 8 (39115) 2-64-30
E-mail: postmaster@egf.krasnoyarsk.su
egf@mail333.com

СОДЕРЖАНИЕ

Колонка редактора

Геофизическая компания берет инициативу на себя!
Турлов П.А. 04

Тема номера: Электромагнитные источники "Енисей" от ОАО "Енисейгеофизика"

Крупным планом

Уважаемые коллеги!
Муртаев И.С. 05

Почему геофизическая компания занялась созданием аппаратуры?
Детков В. А. 06

Уважаемые дамы и господа! Дорогие коллеги!
Зоммер Б.К. 07

Теория

Импульсные электромагнитные сейсмоисточники: особенности и перспективы совершенствования
Ивашин В.В., Иванников Н.А. 09

Выбор основных параметров и типа линейного электродвигателя для импульсных электромеханических сейсмоисточников
Бару Ю.А., Ковган А.Н., Мельник А.К., Ткаченко В.П. 14

Испытания

Некоторые факты из истории тестирования невзрывных источников производства ОАО "Енисейгеофизика"
Струнов А.В., Щадин П.Ю. 31

Результаты испытаний электромагнитного импульсного источника типа "Енисей СЭМ-100" в условиях левобережной части Саратовской области
Заложных М. А., Барулин Д. А. 30

Геофизические технологии

Результаты региональных работ с использованием источника "Енисей КЭМ-4" по маршруту регионального профиля "п. Диксон - оз. Хантайское".
Щадин П.Ю., Тимофеев В.А., Савченко А.А. 20

Применение импульсного источника сейсмического колебания "Енисей" при проведении ВСП
Мартюшев А.А. 28

Первые результаты опробования импульсного водного источника "Енисей ВЭМ-100" в бассейне и на акваториях Красноярского водохранилища и р. Иртыш
Смирнов В.П. 33

Опыт применения

Опыт применения сейсмоисточников "Енисей" в ОАО "Сибнефтегеофизика"
Дроздов А.П., Грехов И.О. 23

Приборы и системы

Аппаратура контроля за работой импульсных источников возбуждения "АКР-ИВ"
Соколов В.Г., Беляев В.Л., Пимштейн И.Г. 38

Галерея технических средств - источники "ЕНИСЕЙ" 26

Система синхронизации, управления и контроля SGD-SP для электромагнитных импульсных источников сейсмических колебаний
Будченко А.А., Ревунов А. Б., Черепанов В.П., Шпильман С.А. 41

Технические средства и содержание проверки источников ряда "Енисей" в цикле накопления одиночных и групповых воздействий
Смирнов В.П. 45

Безопасность

Разрушающие факторы динамического воздействия источников сейсмических колебаний на здания и сооружения
Смирнов В.П. 49

Главный редактор
Турлов П.А.

Подбор материала
от ОАО "Енисейгеофизика"
Щадин П.Ю.

Менеджер проекта
Мокроусова Е.И.

Ответственный секретарь
Слонова Е.Г.

Дизайн, верстка
Мокроусов Д.В.

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

E-mail: skbsp@san.ru

Тел. (845-2) 64-14-32
Fax: (845-2) 64-14-52

Типография "ФОРМАТ"
г. Саратов, ул. Соборная, 17,
тел.: (8452) 23-86-64, 28-36-07
дата выпуска 14.07.05,
зак. № 358, тираж 750 экз.

Издание зарегистрировано в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций за номером ПИ №77-7906 от 27 апреля 2001 г.

От редколлегии
Ответственность за подбор и изложение фактов в статьях несут авторы. Редколлегия может публиковать статьи, не разделяя точки зрения авторов.

КОЛОНКА РЕДАКТОРА

Геофизическая компания берет инициативу на себя!

Турлов П.А., СО ЕАГО, г. Саратов

Этот номер является логическим продолжением избранного редакцией принципа тематического подбора публикаций.

На его страницах представлены материалы, посвященные истории, развитию и сегодняшнему состоянию разработки, производства и внедрения невзрывных источников сейсмических колебаний ряда "ЕНИСЕЙ".

Хорошо известно, что качество возбуждения волнового поля принципиально определяет качество получаемых в сейсморазведочном эксперименте геофизических данных. Поэтому очевиден интерес пользователей геофизической аппаратуры к подобной тематике и оправдано ее появление на страницах нашего журнала.

Теперь о том, почему именно ОАО "Енисейгеофизика" стало объектом обостренного внимания редакции журнала "Приборы и системы разведочной геофизики". Я цитирую слова из развернутого анонса Б. К. Зоммера (стр. 7): "Уникальность данного предприятия состоит в том, что оно является единственной сервисной фирмой в России, которая не только предоставляет услуги по производству геофизических исследований, но и производит серийно необходимую для этого аппаратуру". Понятно, что редакция нашего журнала не могла пройти мимо этого эксклюзивного примера по единению всех элементов новой технологии работ - от тщательно продуманного идейного посыла до новых методик и нового серийно выпускаемого инструментария для их реализации.

Поводом же к постановке такой темы именно в июне явилось желание подготовить номер к ежегодной, традиционной научно-практической конференции, проводимой в августе ОАО "Енисейгеофизика" в неформальной обстановке на озере Шира в Хакасии. Весь геофизический бомонд наверняка соберется там в это время, и наша журналистская трибуна с ее многочисленной информационной мозаикой по единой теме, с широким спектром идей, взглядов и опыта, окажется хорошим катализатором для зарождения дискуссий, новых связей и новых идей, улучшающих геофизическое производство.

Что получилось, судить Вам, дорогой читатель!

А герою этого номера ОАО "Енисейгеофизика" желаем творческих успехов, новых идей, финансового благополучия, здоровья всему коллективу, удовлетворенности от своей работы и удачи во всех начинаниях!

Главный редактор П.А.Турлов

НАШИ ПАРТНЕРЫ

ЕАГО

ОАО "Хантымансийскгеофизика"

ООО "Специальные геофизические системы"

СКБ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

ОАО «Саратовнефтегеофизика»

TECHNOLOGY

ПРИН

Сейс Эл

ЕНИСЕЙГЕОФИЗИКА

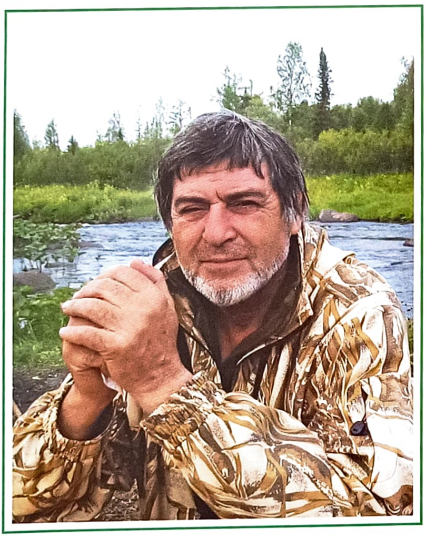
ОАО «ЕНИСЕЙГЕОФИЗИКА»
663180, Красноярский край,
г. Енисейск, ул. Кирова, 81

тел.: 8(39115) 2-21-63
тел./факс: 8(39115) 2-54-30
E-mail: postmaster@egf.krasnoyarsk.su
egf@mail333.com

ОАО "ЕНИСЕЙГЕОФИЗИКА"
КРУПНЫМ ПЛАНОМ

Уважаемые коллеги!

Муртаев И.С., ОАО "Хантымансийскгеофизика", г. Ханты-Мансийск



Выпуск посвящен уникальному импульсному невзрывному источнику электромагнитного принципа действия. Что характерно и замечательно, источник придуман, разработан и внедрен в производство в рамках одного коллектива ОАО "Енисейгеофизика" и первоначально предназначался для работы в геологических и климатических условиях западной части Сибирской платформы (Красноярский край).

Заложенный принцип оптимально согласованного взаимодействия "грунт-источник" вкупе с электромагнитным приводом привел к тому, что излучающая плита источника практически не разрушает грунт и, самое главное, источник позволяет накапливать возбуждаемый сейсмический сигнал в широком частотном диапазоне. Как результат, мы имеем модельный ряд импульсных источников серии "Енисей": колесные-санные, малые-большие, водные-наземные.

Источник отлично работает в Западной и Восточной Сибири, Оренбурге, Казахстане, Якутии, на Камчатке.

Невзрывной источник электромагнитного типа - это российская разработка и прекрасная альтернатива взрывным работам при стандартных исследованиях 2D-3D, ВСП. Прогнозируется его активное использование на неглубоких водоемах и в транзитных зонах. Во многом дальнейшее развитие невзрывной технологии зависит от отношения к ней ведущих геофизиков России. Статьи журнала должны вызвать профессиональный интерес, а активное их обсуждение способствовать совершенствованию, развитию и широкому внедрению в практику сейсморазведочных работ импульсной невзрывной технологии, отвечающей самым строгим требованиям природоохранных стандартов.

С наилучшими пожеланиями,
Генеральный директор ОАО «Хантымансийскгеофизика»

И. С. Муртаев

Чтобы понять мотивы, по которым «Енисейгеофизика» занялась созданием электромагнитных источников сейсмических колебаний, нужно вспомнить обстановку в геофизической отрасли, и в частности в сейсморазведке, в 70-х годах прошлого века...

Генеральный директор ОАО «Енисейгеофизика» Детков Владимир Алексеевич

Почему геофизическая компания занялась созданием аппаратуры?

Детков В. А., ОАО "Енисейгеофизика", г. Енисейск

...На период 70-х гг. приходится начало интенсивного изучения геологического строения Сибирской платформы сейсмическими методами. К этому времени активно начала развиваться вибрационная технология, которая поддерживалась Министерством геологии СССР. При централизованном финансировании были построены предприятия по производству вибраторов в г. Армавире и в г. Гомеле. Импульсная невзрывная технология тогда была представлена газодинамическим источником ГСК. Руководство Министерства геологии СССР не посчитало оправданным развитие еще одного производства импульсных источников.

Между тем, для условий Восточной Сибири существующие источники оказались неоптимальными по нескольким причинам. Бурение взрывных скважин зачастую было невозможно из-за выхода на поверхность трапповых магматических покровов, которые относятся к 9-10 категории бурения. В свою очередь, наличие трапповых тел требовало особого подхода к изучению верхней части разреза. Важной составляющей изучения ВЧР является информация из первых вступлений сейсмограмм ОПВ. Как известно, вибрационная технология не всегда обеспечивает качественные первые вступления сейсмограмм. Поэтому применение вибраторов также не могло в полной мере удовлетворить сейсморазведчиков Восточной Сибири. Импульсные источники ГСК-6, ГСК-10 по своим параметрам также не выдерживали никакой критики. Сложность их обслуживания и эксплуатации (пропан, кислород), очень большая длительность формирования импульса (5-10 мс), не идентичность условий возбуждения из-за разрушения грунта, ограниченность применения в условиях низких температур - вот далеко не полный перечень тех недостатков, которые имели эти газодинамические источники.

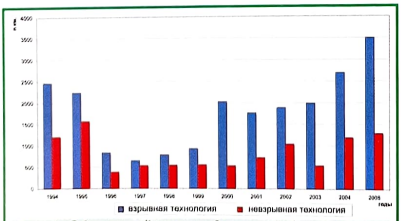


Рис. 1. Объемы сейсморазведочных работ МОГТ, выполненных ОАО "Енисейгеофизика" за последние годы. Всего с момента создания "Енисейгеофизики" отработано 193929 п.км., в том числе 57899 п.км с невзрывной технологией.

Таким образом, наличие многих факторов, как технологических, так и сейсмогеологических, не позволяло выбрать из всех существующих источников наиболее оптимальный для условий Восточной Сибири. Оставался один выход - создание нового невзрывного источника более всего адаптированного к сложным условиям горно-таежной местности и непростым сейсмогеологическим условиям. И такой тип источника, в содружестве с Тольяттинским политехническим институтом (Ивашин В.В.), был найден - это импульсный источник, основанный вначале на электродинамическом, а затем и на электромагнитном принципе возбуждения сейсмических колебаний.

Руководителем геофизической службы Красноярского края Сибгатуллиным В.Г. было предложено и блестяще осуществлено решение Министерства геологии РСФСР о строительстве опытного производства в г. Минусинске. В конце 70-х годов первые источники были внедрены в практику сейсморазведочных работ.

В кооперации с Тольяттинским политехническим институтом (ныне Тольяттинский государственный университет) был разработан и внедрен в производство импульсный электромагнитный источник, который позволяет реализовать очень короткое время воздействия. Из-за принципиально иного решения воздействия на грунт за счет движения массы пригруза вверх, а излучающей плиты вниз, обеспечивается согласованное со скоростью деформации грунта

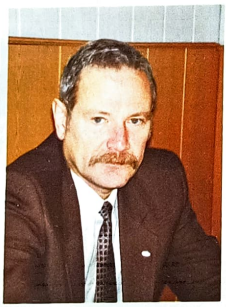
механическое воздействие. Такой способ создания механического напряжения позволяет грунту наиболее полно, не разрушаясь, проявлять свои упругие свойства.

К 1988 году опытное производство в г. Минусинске изготавливало 25-30 источников в год, к 1990 году объем работ с невзрывной технологией достиг 50-60% от общего объема сейсморазведочных работ (рис. 1). С момента создания "Енисейгеофизики" невзрывными источниками, в основном собственного производства, отработано около 60 тысяч погонных километров сейсмопрофилей.

На протяжении всех лет производства электромагнитных источников "Енисей" шло непрерывное совершенствование их эксплуатационных характеристик, создавались новые модификации, обновлялась система управления, увеличивалась мощность. Изначально создаваемый для специфических условий Восточной Сибири, сегодня электромагнитный источник "Енисей", благодаря широкому ряду модификаций (санные, колесные, водные), стал универсальным источником для любых поверхностных и сейсмогеологических условий. Сегодня наши источники работают в Европейской части России, на Урале, в Западной и Восточной Сибири, в Якутии, на Камчатке, в Казахстане.

Производство электромагнитных источников в ОАО "Енисейгеофизика" уже давно вышло за рамки опытного, и их дальнейшее совершенствование, разработка новых модификаций с учетом требований современного процесса геофизического исследования недр требует больших затрат. Назрела необходимость кооперации с заинтересованными научными и производственными организациями для создания конкурентоспособного на мировом рынке невзрывного импульсного источника.

Евро-Азиатское Геофизическое Общество, как авторитетная общественная организация геофизиков, могла бы способствовать созданию таких кооперационных связей.



Уникальность данного предприятия состоит в том, что оно является единственным в России, которое не только предоставляет сервисные услуги по производству геофизических исследований, но и производит необходимую для этого аппаратуру...

Заместитель генерального директора ОАО «Хантымансийскгеофизика»
Зоммер Борис Кузмич

Уважаемые дамы и господа! Дорогие коллеги!

Зоммер Б.К., ОАО "Хантымансийскгеофизика", г. Ханты-Мансийск

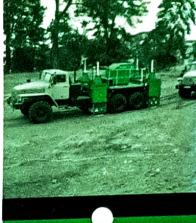
Пользуясь возможностью, любезно предоставленной мне редакцией уважаемого журнала, хочу представить широкому кругу читателей ОАО "Енисейгеофизика" как составную часть крупнейшей геофизической компании России - ОАО "Хантымансийскгеофизика".

Официальный год создания "Енисейгеофизики" - 1979 г. Однако была она создана отнюдь не на пустом месте. Сейсморазведочные работы в Красноярском крае велись с начала 60-х годов прошлого века. В составе треста "Красноярскнефтегазоразведка" уже существовали специализированные сейсморазведочные экспедиции, такие как Богучанская и Борская. Однако именно после создания специализированного геофизического предприятия, сейсморазведка Красноярского края начала развиваться особенно бурно. Одна за другой создавались геофизические экспедиции и группы партий - Илимпейская, Красноярская, Катангская, Эвенкийская, Игарская.

ОАО "Енисейгеофизика" стала одним из крупнейших предприятий на севере края и вторым по величине геофизическим предприятием в СССР после "Главтюменьгеологии".

В 1991 году ПГО "Енисейгеофизика" насчитывало 8 полевых геофизических экспедиций, в составе которых работали 54 геофизических партии и отряда. Всего за период с 1979 по 1990 гг. партиями "Енисейгеофизика" было отработано 154 938 км профилей, подготовлено 86 структур и объектов АТЗ общей перспективной площадью 18 909 км^2. Период с 1992 по 1999 гг. характеризуется резким сокращением объемов работ, лимитов финансирования со стороны государства и, как следствие, численности работников предприятия. Так, только в 1993 г. объемы работ по сравнению с 1992 г. сократились в 2,5 раза. Численность работников к 1995 г. сократилась в 5 раз (с 6500 чел. в 1989 г. до 1189 чел. в 1995 г.).

Следующий этап жизни и развития уже ОАО "Енисейгеофизика" (акционирование предприятия произошло в 1994 г.) начинается в 1998 г., когда основной пакет акций предприятия был приобретен ОАО "Хантымансийскгеофизика". Благодаря помощи головного предприятия, и в первую очередь его генерального директора - Муртаева Исы Султановича, была разработана



ОАО "ЕНИСЕЙГЕОФИЗИКА" КРУПНЫМ ПЛАНОМ

стратегия выхода из кризиса, реализация которой уже через 3 года позволила предприятию уверенно чувствовать себя в новых рыночных условиях производства геофизических услуг.

Уникальность данного предприятия состоит в том, что оно является единственным в России, которое не только предоставляет сервисные услуги по производству геофизических исследований, но и производит необходимую для этого аппаратуру.

В одном номере журнала помещено много статей, в которых подробно освещается история создания электромагнитного источника "Енисей" и всех его модификаций, описываются его технические данные, приводятся результаты испытаний и многочисленные результаты сейсморазведочных работ в самых различных геологических и глубинных сейсмогеологических условиях.

Все имеющиеся на сегодняшний день данные однозначно свидетельствуют о несомненных достоинствах сконструированного технического решения, использованного при разработке источника "Енисей" и всех его модификаций. Подтверждением тому является и очевидный факт заимствования этого технического решения, впоследствии, при создании аналогичного изделия - импульсного источника "Геотон". Что ж, я считаю, что это еще одним подтверждением достоинств данного источника - плохое не заимствуют.

Следует так же упомянуть о том, что в 2002 г. в г. Минусинске на производственной базе "Геотехноцентр" были проведены серьезные сравнительные тестовые испытания источника "Енисей" и вибратора "СВ-5-150" под руководством одного из крупнейших мировых специалистов в области вибросейсморазведки, представителя фирмы "CGG" г-на Гаротта. После этого источник "КЭМ-4" был направлен в одну из полевых партий CGG, где в течение 2-х месяцев принимал участие в производственных работах наряду с вибраторами MERTZ-27. И результаты этих испытаний подтвердили его высокие возможности.

Было бы, по меньшей мере, наивно ожидать хвалебных отзывов от зарубежных производителей конкурентного оборудования, а тем более надеяться на их помощь в налаживании производства и дальнейшем совершенствовании таких источников.

Поэтому я считаю, что делом чести всех российских геофизических компаний является максимально широкое внедрение отечественных невзрывных технологий в производство.

Заканчивая эту небольшую заметку, хотел бы сказать, что в настоящее время ОАО "Енисейгеофизика" под руководством его генерального директора Деткова Владимира Алексеевича - это современное, активно развивающееся предприятие, все подразделения которого укомплектованы самой современной аппаратурой, включая комплексы для трехкомпонентных исследований. Объемы работ постоянно растут. Заказчиками предприятия являются Министерство природных ресурсов РФ, Управление природных ресурсов Красноярского края, Иркутской, Томской областей, республики Хакасия, Эвенкийского, Таймырского АО, ОАО "Красноярскгазпром", ООО "Енисейнефть", ОАО "Славнефть", ОАО "Енисейнефтегаз", ОАО "Востсибнефтегаз" и другие.

Уникальный безотражательный электронный тахеометр

TOPCON

GPT-3000 LN

Впервые возможность измерения расстояний без отражателя до 1200 метров

- Простота использования
- Высокая точность измерений
- Усовершенствованная клавиатура
- Абсолютная безопасность измерений
- Расширенное программное обеспечение

ПРИН

Современные геодезические технологии

125993, Москва, ГСП-3, А-80, Волоколамское шоссе, дом 4,
тел.: (095) 901-91-91, 785-57-37, факс: 926-97-79,
survey@prin.ru, www.prin.ru

...Более глубокое изучение возможностей электромагнитного привода и взаимодействия сейсмоисточника с нагрузкой-грунтом может расширить технические возможности повышения качества диагностики работы сейсмоисточника, управления спектром создаваемых волн, применения наиболее эффективных режимов работы...

Ивашин Виктор Васильевич

Импульсные электромагнитные сейсмоисточники: особенности и перспективы совершенствования

Ивашин В.В., Иванников Н.А., Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти

Под понятием "электромагнитные сейсмоисточники" подразумевается невзрывной поверхностный импульсный сейсмоисточник с силовым электромагнитным приводом, содержащим один или несколько синхронно работающих коротко-ходовых электромагнитов и автономную систему питания, состоящую из емкостного накопителя энергии и устройства для его заряда и разряда [1, 2, 3].

Первый экспериментальный электромагнитный сейсмоисточник на усилие 45 тонн (санного типа) был предложен и изготовлен в конце 80-х годов в Тольяттинском политехническом институте (ныне Тольяттинский государственный университет) по заказу ВО ИГ и РГИ (г. Самара). После его предварительных испытаний в ОАО "Енисейгеофизика" в начале 90-х годов была разработана серия санных (Енисей СЭМ) и колесных (Енисей КЭМ) сейсмоисточников на усилия до 100 тонн с использованием электромагнитов на усилие 25 тонн.

Особенно интенсивно модернизация сейсмоисточников и разработка их модификаций под общим названием "Енисей" начала проводиться в ОАО "Енисейгеофизика" с 2000 года [4]. В настоящее время, кроме санных (Енисей СЭМ) и колесных (Енисей КЭМ) источников, разработан и успешно прошел испытания водный (Енисей ВЭМ) электромагнитный источник для работы в транзитных зонах.

С недавних пор на рынке геофизического оборудования появились и другие невзрывные источники основанные на электромагнитном принципе - "Геотон" [5] и "Терра" [6].

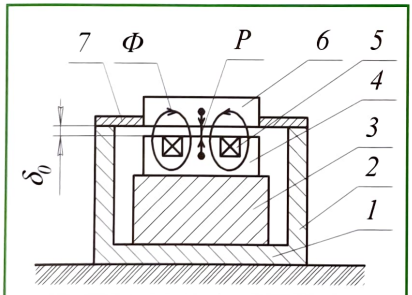


Рис. 1. Конструктивная схема сейсмоисточника.

Импульсные электромагнитные сейсмоисточники используются в сейсмопартиях ОАО "Ханты-мансийскгеофизика", ОАО "Тюменнефтегеофизика", "Ямалгеофизика" и других организациях.

Указанные сейсмоисточники отличаются рядом особенностей, внесенных конструкторами с учетом опыта эксплуатации, при сохранении принципиальной конструктивной схемы, примененной в экспериментальном образце.

На рис. 1 приведена упрощенная принципиальная конструктивная схема импульсного электромагнитного сейсмоисточника, отражающая характерные связи между ее основными элементами. Жесткая плита-антенна 1 расположена на грунте и снабжена стойками 2. На плите-антенне установлена (оперта на нее) пригрузочная инертная масса 3, на которой закреплен индуктор 4 с обмоткой возбуждения 5 силового электромагнита. Якорь 6 электромагнита отделен от индуктора плоским зазором δ_0 (рабочий зазор) и оперт консолями 7 на стойки 2. Магнитопроводы индуктора и якоря электромагнита изготовлены из пластин электротехнической стали.

При пропускании импульса тока I по обмотке возбуждения 5 электромагнита создается магнитный поток Ф, который замыкается по магнитопроводам якоря и индуктора и проходит в основном через рабочий воздушный зазор δ_0. В результате между магнитопроводами якоря и индуктора возникает электромагнитная сила притяжения Р, которая от якоря через его консоли 7 и стойки 2 передается на плиту-антенну 1. Под действием этой силы плита-антенна смещается вниз, грунт под ней деформируется и в результате создается сейсмическая волна.

Одновременно с перемещением якоря, стоек и плиты-антенны вниз индуктор и пригруз под действием силы Р перемещаются вверх. В результате встречного движения якоря и индуктора рабочий воздушный зазор выбирается. В момент времени, когда рабочий воздушный зазор δ_0 равен нулю, якорь ударяется об индуктор и прекращает свое движение вниз. С этого момента времени и электромагнитная сила, действующая на плиту-антенну становится равной нулю, а якорь, прижатый силой магнитного поля к индуктору, вместе с ним и пригрузом

перемещаются по инерции вверх в поле силы тяжести. Затем они возвращаются вниз. Для ослабления удара якоря о сердечник и прилипания якоря к плите-антенне в момент их возврата в исходное положение между якорем и плитой-антенной устанавливаются демпферные диски (рис. 1, позиция 4).

Рассмотренная конструктивная схема сейсмоисточника синтезировалась для решения главной задачи – обеспечения необходимого импульсного механического воздействия на грунт со скоростью его деформации, обеспечивающей создание механических напряжений в грунте, при которых он проявляет в основном свои упругие свойства. Эти скорости для грунтов с различными реологическими свойствами обычно не превышают (1÷1,5) м/с и не должны значительно отличаться от скорости $V_{ч}$ частиц грунта при распространении сейсмической волны.

Примерно такие же скорости деформации грунта обеспечивают сейсмические вибраторы. Однако многие из известных импульсных сейсмоисточников, например взрывные, типа "падающий груз", а также газодинамические и другие, воздействуют на грунт со скоростями в 10 и более раз превышающими скорость упругих деформаций. Это несоответствие скоростей приводит к низкому коэффициенту преобразования энергии воздействия на грунт в энергию его упругих деформаций и, как следствие, к усложнению сейсмоисточника, большой стоимости и потребляемой мощности.

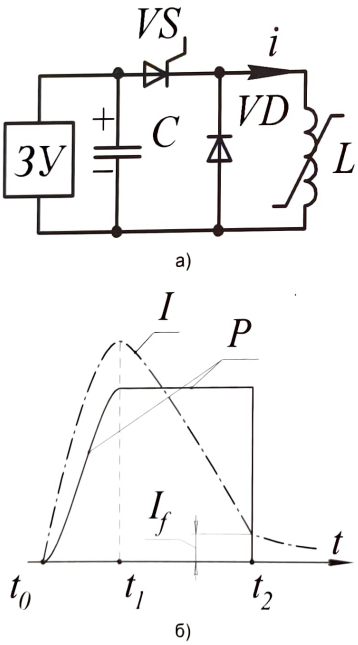


Рис. 2. Силовая часть схемы импульсного питания электромагнита:
а - принципиальная электрическая схема;
б - диаграммы силы P электромагнита и тока I в его обмотке.

Одной из важнейших частей сейсмоисточника является силовой короткоходовой электромагнит, позволяющий воздействовать на излучающую плиту-антенну импульсами силы необходимой длительности $(4\div10)\cdot10^{-3}$с с высоким КПД преобразования потребляемой из емкостного накопителя электрической энергии в механическую. При индукции магнитного поля в рабочем воздушном зазоре δ_0 до (1,8÷1,9) Тл развиваемые удельные силы на 1 $см^2$ площади, прилегающей к рабочему воздушному зазору магнитопроводов, достигают (14÷15) кгс/$см^2$, что позволяет создавать электромагниты на усилия до (25÷40) тонн. При изготовлении сейсмоисточников на большие силы необходимо применять несколько синхронно работающих электромагнитов.

Схема импульсного питания обмотки возбуждения электромагнита позволяет обеспечить в течение времени уменьшения (выбора) рабочего зазора δ_0 наиболее эффективный режим энергопреобразования, характеризуемый примерным постоянством индукции магнитного поля в рабочем воздушном зазоре и создаваемой электромагнитом силы.

Емкостный накопитель энергии C заряжается от зарядного устройства ЗУ до напряжения U, которое, во-первых, стабилизировано и, во-вторых, может регулироваться (рис. 2). По сигналу с сейсмостанции в момент времени t_0 включается тиристор VS и емкость C начинает разряжаться на обмотку L электромагнита. В момент времени t_1 ее полного разряда, когда ток I достигает максимального значения, происходит закорачивание обмотки L диодом VD и выключение тиристора VS. Преобразование магнитной энергии в механическую энергию осуществляется в основном на интервале времени $t_1 - t_2$. Величина магнитного потока Ф и, следовательно, индукции B в рабочем воздушном зазоре δ_0 электромагнита при этом изменяются незначительно. Уменьшение тока в обмотке возбуждения от I_m до тока намагничивания I_1 на интервале времени $t_1 - t_2$ обусловлено уменьшением рабочего зазора δ_0 при движении якоря вниз, а индуктора вверх. Энергия магнитного поля рассеяния и энергия, запасенная в стали магнитопроводов якоря и индуктора, не преобразованная на интервале времени $t_1 - t_2$ в механическую энергию, выделяются в обмотке возбуждения в виде тепла с момента времени t больше чем t_2.

Однополярный по напряжению режим работы емкостного накопителя энергии, отдающего всю электрическую энергию на интервале времени $t - t_1$ в энергию магнитного поля, определяет небольшие потери в диэлектрике конденсатора и возможность применения в накопителе C энергоемких конденсаторов, масса которых составляет небольшую часть от массы сейсмоисточника. Отключение от обмотки возбуждения емкостного накопителя энергии в момент времени t_1 выключения тиристора VS обеспечивает генерирование электромагнитом максимальной механической энергии, при которой механическое воздействие на грунт также максимально.

Наиболее полное и наглядное представление об особенностях работы сейсмоисточника, происходящих при генерировании электромагнитом механической энергии, дает его энергетическая диаграмма, характерный вид которой показан на рис. 3.

Диаграмма отражает изменение потокосцепления ψ обмотки возбуждения L электро-

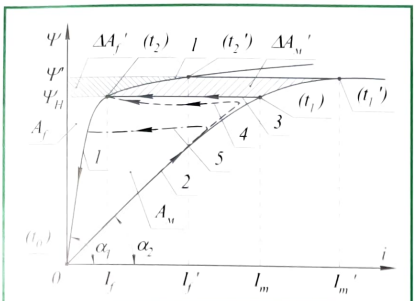


Рис. 3. Энергетическая диаграмма преобразования энергии электромагнитом.

магнита от тока I, проходящего по обмотке, и может быть экспериментально определена даже в полевых условиях работы сейсмоисточника. В осях Ψ и I любая площадь на диаграмме численно равна соответствующей ей магнитной или механической энергии, а зависимости Ψ=f(I) отражают магнитное состояние электромагнита как преобразователя энергии. Линия 1 и $\mathrm{tg}\,\alpha_1$ - характеристика намагничивания магнитопровода (при δ_0=0) и индуктивность его обмотки возбуждения; линия 2 - характеристика намагничивания (при δ_0) и соответствующая индуктивность обмотки возбуждения; площадь, ограниченная кривой (t_0-t_1-t_2-t_0) отражает механическую энергию $A_м$, а площадь, ограниченная кривой (t_0-t_2 - $\Psi_н$-t_0) энергию A_f, содержащуюся в стали магнитопроводов якоря и индуктора. Участок 3 между точками t_1 и t_2 является траекторией перехода и характеризует изменение потокосцепления и тока в процессе выбора зазора δ_0 при срабатывании электромагнита. Механическая энергия $A_м$ определяет сумму энергий, получаемых пригрузом, индуктором и якорем. С момента времени t_2 магнитная энергия A_f рассеивается в виде тепла на активном сопротивлении r обмотки возбуждения, что сопровождается уменьшением тока I_f в обмотке с постоянной времени:

$$\tau \approx \frac{\mathrm{tg}\alpha_1}{r} \approx (50 \div 100)\cdot 10^{-3}\,\mathrm{c}.$$

При увеличении емкости накопителя или напряжения на нем по сравнению с их номинальными значениями (форсированный режим работы сейсмоисточника) происходит увеличение потокосцепления с $\Psi_н$ до Ψ' и механической энергии на $\Delta A'_м$, а также увеличивается на $\Delta A'_f$ энергия магнитного поля в стали магнитопроводов якоря и индуктора. Причем, из-за нелинейности характеристики намагничивания магнитопровода, обусловленной его существенным насыщением, всегда имеет место неравенство:

$$\frac{\Delta A'_f}{A_f} > \frac{\Delta A'_м}{A_м},$$

что приводит к снижению КПД преобразования электрической энергии, потребляемой от емкостного накопителя, в механическую энергию и сопровождается резким увеличением тока в обмотке возбуждения до I_m, а тока намагничивания до $I'_f >> I_f$. В правильно спроектированном электромагните сейсмоисточника при номинальном режиме его работы величина тока I_f должна лежать в диапазоне $(0{,}2 \div 0{,}3)I_m$.

Незначительное уменьшение рабочего зазора δ_0 на интервале времени t_0 - t_1 нарастания тока I и силы P электромагнита, индуктивность пазового рассеяния обмотки возбуждения, а также потери энергии на ее активном сопротивлении несколько изменяют теоретическую энергетическую диаграмму: она принимает вид, показанный на рис. 3 пунктирной линией 4 и проходит на участке, соответствующем траектории перехода от точки t_1 до точки t_2, несколько ниже траектории идеализированного перехода. Однако влияние отмеченных факторов на изменение потокосцепления в течение времени выбора рабочего зазора δ_0 обычно незначительно.

При уменьшении напряжения на емкостном накопителе энергия, вводимая от него в магнитное поле электромагнита, уменьшается, и, соответственно, уменьшаются механическая энергия и развиваемая им электромагнитом сила. При этом площадь, ограниченная кривой Ψ = f(I), также уменьшается (линия 5 на рис. 3).

Экспериментальное определение и анализ особенностей энергетической диаграммы головного образца из серии выпускаемых сейсмоисточников позволяет определить степень соответствия его характеристик заданным проектом. При стендовых испытаниях выпускаемых сейсмоисточников ее определение необходимо для настройки режима энергопреобразования. Простота определения энергетической диаграммы дает возможность ее использования при контрольной поверке работы сейсмоисточника в полевых условиях, а также после проведения его ремонта.

Важным, но еще недостаточно изученным, является вопрос выбора рациональной длительности фронта нарастания силы (интервал времени от t_0 до t_1). Предполагалось, что длительность фронта силы должна быть возможно короче. Однако уменьшение длительности фронта силы (и тока!) ведет к возрастанию максимального тока разряда емкостного накопителя через тиристор VS и обмотку возбуждения. Это, в свою очередь, ведет к увеличению потерь в обмотке и потерь на вихревые токи в магнитопроводе электромагнита. Обмотка в этом случае должна выполняться из провода большего сечения и с меньшим числом витков, что усложняет ее изготовление.

Уменьшить максимальные токи разряда емкостного накопителя можно, если в электромагнитах, установленных на одном сейсмоисточнике, соединить обмотки возбуждения не параллельно, а последовательно. Однако такое техническое решение требует установки величины рабочих зазоров δ_0 с повышенной точностью. Как показали теоретические и лабораторные исследования, при относительной не идентичности зазоров всего лишь ±5% различия в работе двух электромагнитов с последовательным соединением обмоток уже могут быть значительны. Особенно это заметно при работе сейсмоисточников на пониженном относительно своего номинального значения напряжении на емкостном накопителе: создаваемые электромагнитами силы к моменту выбора рабочего зазора могут отличаться в несколько раз! В связи с этим задачу уменьшения тока разряда при необходимости целесообразно решать применением в электромагнитах обмоток возбуждения с большим числом витков из провода меньшего сечения, сохраняя схему с параллельным соединением обмоток возбуждения.

В организациях, разрабатывающих и выпускающих серии электромагнитных сейсмоисточников, проведена большая работа по

совершенствованию их конструкции и технологии изготовления с учетом опыта эксплуатации. Однако еще недостаточно внимания уделяется изучению возможностей повышения сейсмической эффективности источников путем применения более согласованных с нагрузкой-грунтом режимов энергопреобразования, совершенствованию методов диагностики работы и передачи механической энергии в грунт.

Сила реакции грунта при сжатии плитой-антенной в основном определяется его упругими свойствами. Поскольку при используемых режимах с постоянством потокосцепления развиваемая электромагнитом сила в течение времени выбора рабочего зазора сохраняет примерно постоянное значение, то скорость смещения плиты-антенны при нагружении грунта можно считать изменяющейся по синусоидальному закону

$$V \approx \frac{P}{\omega m} \cdot \sin \omega t. \qquad (1)$$

где ω – угловая частота, определяемая суммой масс якоря $m_я$ и плиты $m_{пл}$, а также податливостью (упругостью) грунта ξ

$$m = m_я + m_{пл}; \omega = \frac{1}{\sqrt{m \cdot \xi}}. \qquad (2)$$

От электромагнита как источника силы P энергия передается в движение массы m и податливость грунта ξ

$$A = \int PV \cdot dt = \frac{P^2}{\omega^2 m}(1 - \cos \omega t). \qquad (3)$$

Эта энергия максимальна для частоты ω при угле $\omega t = \pi$ и накапливается в виде упругой деформации грунта $x_м$

$$A_{max} = \frac{2P^2}{\omega^2 m} = \frac{\xi(2P)^2}{2} = \frac{P_\xi^2 \cdot \xi}{2}, \qquad (4)$$

$$x_м = \sqrt{2P_\xi \cdot \xi},$$

то есть сила P_ξ сжатия грунта на подобие пружины теоретически достигает при принятых условиях удвоенного значения силы P электромагнита. В реальных случаях из-за потерь на неупругие деформации грунта и акустическое излучение сила P_ξ будет несколько меньше, то есть P_ξ меньше чем 2P. Из (3) следует, что при углах $\omega t \geq \pi$ грунт разжимается и действие силы P электромагнита не приводит к увеличению передаваемой в грунт-нагрузку энергии и его деформации $x_м$.

При углах

$$\omega t \approx \pi \pm \frac{\pi}{3}$$

различия в деформации грунта-нагрузки невелики, что позволяет определить режим работы сейсмоисточника на согласованную нагрузку как режим, когда длительность силы P, развиваемой электромагнитом и определяемой временем выбора рабочего зазора δ_0, примерно соответствует времени полупериода деформации грунта под плитой под действием этой силы.

Таким образом, если исходить из условия передачи от электромагнита в нагрузку-грунт возможно большей механической энергии, следует обеспечивать длительность силы P электромагнита примерно равной полупериоду колебательного процесса с частотой ω.

Поскольку сейсмоисточник практически должен работать на грунтах с различными реологическими свойствами, в том числе и с различной податливостью (лед, мерзлый и талый грунт и т.д.), то величину рабочего зазора δ_0 целесообразно устанавливать, учитывая податливость наиболее "жестких" грунтов. При этом при работе на более "мягких" грунтах, податливость которых в (2 - 3) раза больше, сейсмоисточник будет работать в режиме с почти согласованной нагрузкой.

Энергия излучаемых сейсмических волн составляет сравнительно небольшую часть от энергии деформации грунта и определяется в основном скоростью деформации грунта, а не ее величиной. В связи с этим увеличение силы P является естественным средством повышения сейсмической эффективности. Но для этого требуется применение более мощного электромагнитного привода, что связано с увеличением стоимости и веса сейсмоисточника. Однако имеется и "особый" способ увеличения мощности излучения, сущность которого состоит в увеличении максимальной силы при сохранении ее среднего значения. Он достигается обеспечением упругого взаимодействия между якорем электромагнита и плитой-антенной и технически может быть осуществлен помещением между якорем и плитой-антенной пластин из упругого материала с определенной податливостью - например полиуретановых.

На рис. 4 приведены полученные в лабораторных условиях осциллограммы скорости перемещения плиты-антенны, отражающие скорость I нагружения грунта для случая режима непосредственного давления якоря на плиту-антенну, и скорость 2 при их упругом

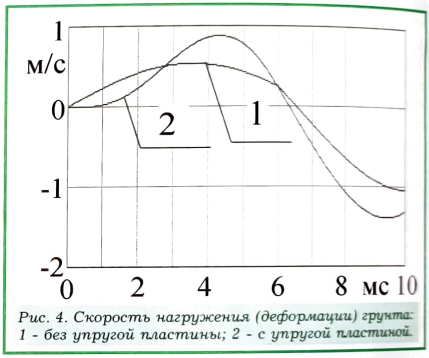


Рис. 4. Скорость нагружения (деформации) грунта: 1 - без упругой пластины; 2 - с упругой пластиной.

взаимодействии. Увеличение при упругом взаимодействии скорости нагружения грунта примерно в 1,6 раза свидетельствует о принципиальной возможности увеличения максимальной мощности сейсмоисточника примерно в 2,5 раза без изменения мощности электромагнитного привода и веса сейсмоисточника. При этом может быть расширен по частоте спектр излучаемых сейсмоисточником волн.

В лабораторных условиях, а также при стендовых испытаниях сейсмоисточника измерение скорости движения его плиты-антенны может выполняться, например, с помощью реохордного датчика. В полевых условиях оценка работы сейсмоисточника обычно выполняется с помощью закрепленного на пригрузе акселерометра. Измерение акселерометром ускорений, получаемых пригрузом, свидетельствует лишь о величине развиваемой электромагнитом силы и о примерном времени ее действия. Сигнал с акселерометра не учитывает характер перемещения плиты-антенны, поскольку величина развиваемой электромагнитом силы не зависит от реологических свойств грунта.

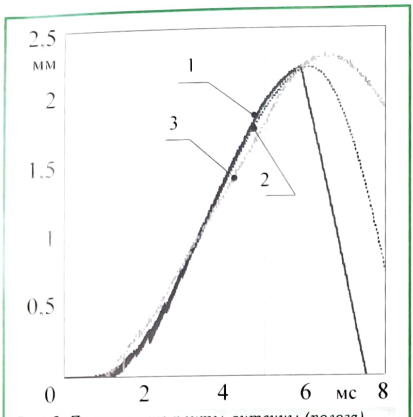


Рис. 5. Перемещение плиты-антенны (полоза) сейсмоисточника:
1 - перемещение, полученное в результате обработки осциллограмм тока в обмотке возбуждения электромагнита;
2 - перемещение, вычисленное при расчете динамики работы сейсмоисточника;
3 - перемещение, замеренное с помощью реохордного датчика.

Более удобным, надежным, информативным и пригодным для использования в полевых условиях может оказаться способ оперативной оценки работы электромагнитного сейсмоисточника с помощью измерения тока в обмотке возбуждения. Кривая изменения тока I и его величина в момент t_1 выключения тиристора VS характеризуют уровень форсировки режима энергопреобразования электромагнита и, следовательно, развиваемую им силу. Интервал времени от t_1 до t_2, на котором ток I в обмотке возбуждения уменьшается, а якорь и индуктор электромагнита, двигаясь навстречу друг другу, выбирают в основном рабочий зазор δ_0, характеризует длительность приложения силы к излучающей плите-антенне. По характеру изменения тока на интервале времени от t_1 до t_2 простым методическим приемом может быть определена зависимость x(t) деформации грунта в течение времени действия силы P на плиту-антенну.

На рис. 5 приведены зависимость x(t) для сейсмоисточника "Енисей СЭМ-50", полученные тремя различными способами при его испытаниях в лабораторных условиях. Сравнение между собой кривых (рис. 5) показывает, что они практически одинаковы. Это доказывает принципиальную возможность получения зависимости деформации грунта в течение времени действия силы P простым и надежным способом - посредством обработки осциллограмм тока в обмотке возбуждения электромагнита.

Электромагнитные сейсмоисточники получили сравнительно широкое применение лишь в последние 3-4 года. Их развитие должно проводиться не только в направлении улучшения конструкции, технологии изготовления, применения современной элементной базы и разработки модификаций, отличающихся развиваемой силой и весом. Более глубокое изучение возможностей электромагнитного привода и взаимодействия сейсмоисточника с нагрузкой-грунтом может расширить технические возможности повышения качества диагностики работы сейсмоисточника, управления спектром создаваемых волн, применения наиболее эффективных режимов работы и т.д.

Имеющийся опыт создания и применения электромагнитных сейсмоисточников продольных волн может быть использован при создании сейсмоисточников поперечных волн, а также создающих и продольные и поперечные волны.

Литература

1. Патент РФ №2172496. Импульсный электромагнитный привод невзрывного сейсмоисточника / Ивашин В.В., Певчев В.П. Бюл. №23, 2001.
2. Патент РФ №2171478. Импульсный невзрывной сейсмоисточник с электромагнитным приводом / Детков В.А., Ивашин В.В., Певчев В.П. Бюл. №21, 2001.
3. Патент РФ №2172497. Силовой электромагнит импульсного невзрывного сейсмоисточника / Ивашин В.В., Певчев В.П. Бюл. №23, 2001.
4. Смирнов В.П. Электромагнитные источники сейсмических колебаний ряда "Енисей СЭМ, КЭМ". Журнал "Приборы и системы разведочной геофизики", №1, 2003, с. 21-25.
5. Анкушев В.В., Гурьев С.В., Резвов В.И. Компания "ГЕОСЕЙС" представляет новый импульсный источник возбуждения "Геотон". Журнал "Приборы и системы разведочной геофизики", №1, 2003, с. 11-12.
6. Бару Ю.А., Водаков Г.С., Зайцев И.Т., Мельник А.К., Ткаченко В.П. Электромеханические источники сейсмических колебаний типа "Терра". Журнал "Приборы и системы разведочной геофизики", №1, 2003, с. 18-20.

ПОДПИШИСЬ

Персональная информация о подписчике/Почтовый адрес организации

ФАМИЛИЯ | ИМЯ | ОТЧЕСТВО
ПОЛНОЕ НАИМЕНОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ
ОТДЕЛ/ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ | ДОЛЖНОСТЬ
ИНДЕКС | СТРАНА | ГОРОД | ОБЛАСТЬ/РАЙОН
АДРЕС
КОД ГОРОДА | ТЕЛЕФОН | ФАКС | E-MAIL

Россия, 410019, г. Саратов, ул. Крайняя 129, СО "ЕАГО" - в редакцию "Приборы и системы разведочной физики"

Стоимость годовой подписки (с почтовой пересылкой и НДС - 10%)

Наименование издания	1 комплект	2 комплекта	3 комплекта	4 комплекта
Журнал "Приборы и системы разведочной геофизики"	1600 руб.	3200 руб.	4800 руб.	6400 руб

Выбор основных параметров и типа линейного электродвигателя для импульсных электромеханических сейсмоисточников

Бару Ю.А., Ковган А.Н., Мельник А.К., Ткаченко В.П., ОАО завод "Потенциал", г. Харьков

"Естественный отбор", происшедший за последние 10-15 лет в области невзрывных импульсных сейсмоисточников, оставил в эксплуатации только электромеханические возбудители упругих колебаний. Это закономерно, т.к. электрическая энергия, являющаяся наиболее организованной и управляемой формой, способна обеспечить оптимальные параметры возбуждения и точность их воспроизведения.

При выборе параметров импульсных сейсмоисточников существует много спорных и не устоявшихся понятий. Этот вопрос подвергался анализу еще при создании первых невзрывных установок [1]. Активно это обсуждение происходило в 1980-х годах при подготовке так и не утвержденного ГОСТа на невзрывные сейсмоисточники. Принятое тогда решение [2] об оценке газодинамических источников по величине энергии, а электромеханических - по величине импульса силы было компромиссным, но оно не способствовало единству взглядов, как самих разработчиков сейсмоисточников, так и их взаимопониманию с геофизиками, использующими такую технику. Поэтому обсуждение вопроса о выборе параметров сейсмических возбудителей является весьма актуальным.

При анализе работы линейного импульсного электродвигателя (ЛИЭД) вне зависимости от того, является ли он электромагнитным, электродинамическим или электроиндукционным [2], процесс энергопреобразования должен рассматриваться совместно с нагрузкой. Нагрузкой является грунт, в котором происходит преобразование импульсного силового возбуждения в энергию упругой деформации, т.е. энергию сейсмических волн.

В многочисленных работах показано, что грунт обладает инерционными и упруго-вязкими свойствами. Инерционные свойства определяются суммой "присоединенной" массы грунта, массы опорной плиты и массы якоря источника. "Присоединенная" масса грунта играет превалирующую роль. Ее величина зависит от диаметра опорной плиты [3], размер которой для исключения пластических деформаций грунта должен выбираться так, чтобы удельное давление не превышало величины 0,4÷0,7 МПа. Таким образом, инерционные свойства грунта, участвующего в процессе возбуждения сейсмических волн, определяются максимальным усилием, развиваемым сейсмоисточником.

В соответствии с первой системой электромеханических аналогий [4] механическая система, обладающая инерционными и упруго-вязкими свойствами, эквивалентна электрической, состоящей из последовательно соединенных индуктивности, конденсатора и активного сопротивления. Такой электрический контур является резонансной колебательной системой, которая способна преобразовывать энергию импульсного возбуждения в энергию свободных колебаний. Показано [5], что при импульсном возбуждении амплитуда свободных колебаний в электрическом контуре определяется величиной произведения E·τ, где E - напряжение электрического импульса, τ - его длительность. В случае механической системы (электромеханический излучатель, установленный на грунт) это эквивалентно тому, что амплитуда возбуждаемых упругих колебаний определяется импульсом силы, развиваемым излучателем - F·τ, где F - величина силы воздействия.

При $\sin^2$-й форме возбуждаемого силового воздействия, что характерно для ЛИЭД, питаемого от конденсаторного накопителя, импульс силы равняется:

$$I=\int_0^{\tau} F_{max}\sin^2\omega t dt=\frac{1}{2}F_{max}\tau=F_{cp}\cdot\tau. \qquad (1)$$

Вывод о том, что амплитуда регистрируемых сейсмических колебаний пропорциональна импульсу силы, был сделан и в работе [6] путем анализа процесса возбуждения с учетом частотного спектра полезных сейсмических колебаний. Еще в начале 1980-х годов изготавливаемые Опытным заводом "Потенциал" г. Харьков (теперь ОАО завод "Потенциал") источники типа "Сейсмодин" проектировались, исходя из того, что их сейсмическая эффективность определяется импульсом силы. Импульс силы характеризует, как сейсмическую эффективность источника, так и его массогабаритные параметры и, следовательно, определяет выбор транспортной базы для монтажа установки.

Имея заданную при проектировании величину импульса силы, нельзя произвольно выбрать его длительность. В грунте происходит не только формирование сейсмических волн, но и последующая их фильтрация, причем каждый слой грунта, обладая своими физико-механическими свойствами, производит фильтрацию в своем диапазоне частот. Поэтому амплитудно-частотные спектры регистрируемых на поверхности отраженных волн являются усредненными, характеризующими фильтрующие свойства всей исследуемой толщи земли.

Существенным является то, что диапазоны регистрируемых частот отраженных волн при работе различных источников, как импульсных, так и вибрационных, работающих в разных районах, мало отличаются один от другого. Они, как правило, имеют резонансный характер с максимумом в полосе частот 25÷35 Гц [2], даже при взрывном возбуждении регистрируемые частоты не превышают 60 Гц [7]. Это свидетельствует о том, что частотный спектр регистрируемых колебаний формируется не столько при возбуждении сейсмических волн в области "опорная плита-грунт", сколько при их фильтрации во время прохождения толщи земли.

Воздействовать на изменение диапазона регистрируемых частот при невзрывном возбуждении практически невозможно. Влияние диаметра опорной плиты и, следовательно, величины присоединенной массы земли на частоту генерируемых колебаний [8] существует лишь при возбуждении сейсмических волн, а при последующей фильтрации это влияние становится несущественным.

Однако, выбрав оптимальную длительность силового импульса сейсмоисточника, можно

обеспечить наиболее эффективное энергопреобразование при импульсном возбуждении, увеличив тем самым амплитуду сейсмических колебаний в диапазоне полезных частот. Действительно, при импульсном возбуждении колебательного контура максимальная величина амплитуды колебаний будет тогда, когда длительность импульса равняется половине периода свободного колебания [5]. Значит, чтобы с максимальной эффективностью возбудить колебания в диапазоне частот, соответствующем АЧХ регистрируемых сигналов, длительность силового воздействия должна находиться в пределах 14÷20 мс (в среднем 17 мс), что соответствует вышеуказанным частотам 25÷35 Гц.

Изготавливаемые в настоящее время электромеханические источники (ЭМИС) "Енисей", "Геотон", "Терра", "Терradин" - имеют электромагнитные возбудители (двигатели) с длительностью воздействия порядка 5÷6 мс, что соответствует частотам 80÷100 Гц, которых практически нет в регистрируемом спектре полезных колебаний.

Длительность силового импульса определяется параметрами ЛИЭД и конденсаторного накопителя. По принципу действия ЛИЭД импульсного сейсмоисточника может быть электромагнитным или электродинамическим [2]. На рис. 1 показаны магнитные системы таких ЛИЭД, применяемых в сейсмоисточниках, изготавливаемых ОАО завод "Потенциал": круглый магнитопровод с кольцевой обмоткой статора (индуктора) для электромагнитных ЛИЭД [9] и для электродинамических ЛИЭД - цилиндрический магнитопровод с системой чередующихся полюсов, образуемых токами обмоток, расположенных в кольцевых пазах, выполненных на обращенных друг к другу концентрических поверхностях якоря и статора [10]. Выбор типа ЛИЭД в зависимости от длительности силового воздействия является основным вопросом при проектировании ЭМИС.

ЭМИС является мобильным устройством, размещаемым на транспортной базе с ограниченной грузоподъемностью, поэтому при проектировании критериями выбора типа ЛИЭД являются, прежде всего, весовые характеристики оборудования источника, определяемые в основном массой конденсаторного накопителя и массой ЛИЭД. Масса остальных узлов ЭМИС: механизм подъема и фиксации излучателя с гидравлической системой, кузов, система управления - практически не зависят от принципа действия ЛИЭД.

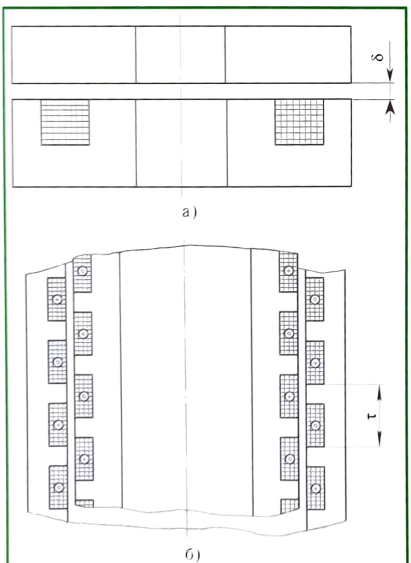


Рис. 1. Магнитные системы линейных импульсных электродвигателей: а - электромагнитного; б - электродинамического.

Масса конденсаторного накопителя определяется суммой энергии, необходимой для преобразования в механическую, и изменением энергии, запасенной в магнитном поле ЛИЭД. Основная часть запасаемой магнитной энергии приходится на область воздушного зазора. Поскольку зазор в электромагнитном ЛИЭД весьма мал по сравнению с воздушным зазором в электродинамическом ЛИЭД, в его магнитном поле запасается меньшая энергия. Это обеспечивает высокую эффективность преобразования энергии в электромагнитном ЛИЭД и соответственно меньшие емкость и массу конденсаторного накопителя.

Однако малая величина воздушного зазора требует для нормального функционирования ЛИЭД значительных величин массы инертного пригруза, которая, хотя и является только частью общей массы ЛИЭДа, характеризует весовые характеристики всего двигателя. Исходя из этих соображений в качестве показателя, характеризующего весовые параметры ЭМИС, нами принята сумма масс конденсаторного накопителя и инертного пригруза ЛИЭД.

Сравнение двух типов ЛИЭД проводилось на основе методик расчета ЭМИС, разработанных нами при создании электродинамических источников "Сейсмодин" и электромагнитных "Терра" и "Терradин" и обеспечивающих, как показала многолетняя практика, достаточно высокую точность при проектировании.

Результаты сравнительного анализа приведены на рис. 2 и 3. Сравнение проводилось для сейсмоисточников с различными величинами силового воздействия F_{max}=1...30 тс.

На рис. 2 видно, что при длительности силового воздействия 5 мс до усилий F_{max}=16...17 тс электромагнитный ЭМИС имеет меньшие массы, чем электродинамический, причем разница тем больше, чем меньше усилие. При усилиях F_{max}>16...17 тс электродинамический ЭМИС предпочтительнее, уже при F_{max}=30 тс, сумма масс конденсаторного накопителя и инертного пригруза для электромагнитного ЭМИС на 30% выше, чем у электродинамического. Исходя из этих результатов, источники типа "Терра" с усилием от 0,3 до 3 тс, изготавливаемые ОАО завод "Потенциал", имеют электромагнитные ЛИЭД.

Иная картина при длительности силового импульса 15 мс (рис. 3). Преимущество электродинамического ЛИЭД над электромагнитным существует при любом развиваемом усилии и резко возрастает с его увеличением, т.е. для возбуждения импульса силы длительностью 15 мс целесообразно использовать электродинамический ЛИЭД во всем диапазоне усилий. Физически это вполне объяснимо, так как при большой длительности силового воздействия для функционирования электромагнитного ЛИЭД необходимо существенно увеличивать инертный пригруз или воздушный зазор, а значит, и величину запасаемой электрической энергии, т.е.

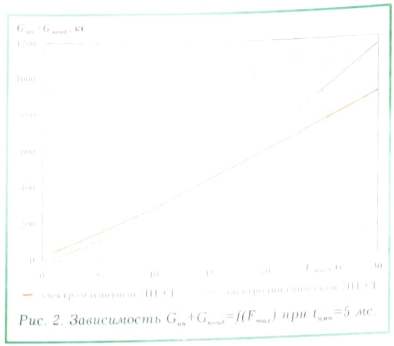


Рис. 2. Зависимость $G_{ин}+G_{конд}=f(F_{max})$ при $t_{имп}=5$ мс.

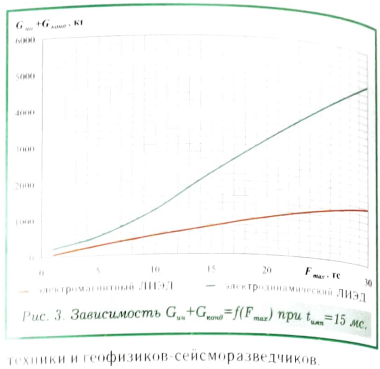


Рис. 3. Зависимость $G_{ин}+G_{конд}=f(F_{max})$ при $t_{имп}=15$ мс.

массу конденсаторного накопителя.

Необходимо учесть, что в силу принятых выше условных допущений и унификации исходных данных (напряжения заряда, размеров воздушного зазора и полюсного деления), полученные результаты носят оценочный характер. Точные результаты, особенно в диапазоне 15÷18 тс при длительности импульса 5 мс, могут быть получены при проектировании конкретных ЭМИС.

Преимуществом электродинамического ЛИЭД является и то, что исключается эксплуатационный недостаток электромагнитного ЛИЭД, заключающийся в возможности соударения индуктора и якоря при изменяющейся твердости поверхностного слоя почвы в различных точках силового воздействия.

При выборе ЛИЭД необходимо учесть и то, что его диаметр на обычном транспортном средстве (автомобили "Урал", "КамАЗ", "КрАЗ") не может превышать 700÷750 мм, и этим ограничивается усилие одной секции электромагнитного (рис. 1а) или однокатушечного электродинамического ЛИЭД. Кратное увеличение усилия в электродинамическом ЛИЭД возможно путем выбора магнитной системы с необходимым числом полюсов, а в электромагнитном требуется расположение секций друг над другом ("этажерка") таким образом, чтобы их магнитные поля не были связаны между собой, что конструктивно достаточно сложно и менее эффективно с точки зрения массогабаритных параметров ЛИЭД.

Электродинамические возбудители (импульсные линейные двигатели) использовались в 80-90-х годах прошлого века в источниках типа "Сейсмодин", длительность импульса в которых равнялась 12 мс (С 4800/12) и 15мс (С 7200/15).

ОАО завод "Потенциал" сегодня готов к изготовлению и поставке электродинамического источника на автомобиле "Урал-43203" (грузоподъемностью 6,8 т) с импульсом силы 4500 Н·с (максимальное усилие - 60 тс и длительность воздействия 15 мс.). Такой источник будет иметь сейсмическую эффективность в 2,5-3 раза большую существующих электромеханических излучателей. Удельная стоимость такого источника (отношение цены к величине импульса силы) будет в 1,5-2 раза меньше, чем у существующих установок.

Положения, высказанные в настоящей статье, не претендуют на принципиальную новизну. Они обсуждались ранее в разной форме и нами, и другими авторами. Целью опубликования статьи является активизация всестороннего обсуждения вопроса об оптимальных параметрах импульсных электромеханических сейсмоисточников для установления взаимопонимания разработчиков техники и геофизиков-сейсморазведчиков.

Выводы

Основным параметром, характеризующим сейсмическую эффективность импульсного сейсмоисточника, является развиваемый им импульс силы.

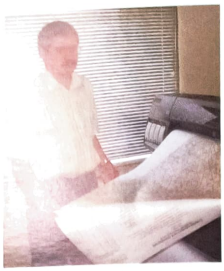
Оптимальная длительность возбуждения (импульса силы) определяется средней частотой регистрируемых колебаний и находится в пределах 14-20 мс.

Применение электромагнитного ЛИЭД при длительности воздействия 5 мс целесообразно до амплитуд силового импульса 16÷17 тс.

В импульсных сейсмоисточниках, предназначенных для создания импульсов силового воздействия с длительностью 15 мс и более, целесообразно применение электродинамических ЛИЭД независимо от амплитуды силового импульса.

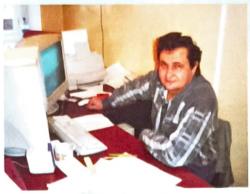
Литература

1. Л.Д. Райхер. К вопросу о выборе оптимальных параметров импульсных излучателей колебаний электродинамического типа. Реферативный сборник "Вопросы методики и техники геофизических исследований", вып. 2. Сер.: Региональная, разведочная и промысловая геофизика, №21, М, 1970.
2. Невзрывные источники сейсмических колебаний. Справочник. М., "Недра", 1992.
3. М.Б. Шнеерсон, В.В. Майоров. Наземная сейсморазведка с невзрывными источниками колебаний. М., "Недра", 1980.
4. Г.А. Гамбурцев. Основы сейсморазведки. М., Гостоптехиздат, 1959.
5. И.С. Гоноровский. Основы радиотехники. М., Связьиздат, 1957.
6. В.И. Роман, С.М. Геккер, И.З. Гонтовой, И.Л. Ищенко, В.Ф. Каневский. Влияние длительности воздействия на сейсмическую эффективность импульсных электродинамических источников упругих колебаний. Материалы Всесоюзной конференции "Вибросейсмические методы исследования Земли". Новосибирск, 1982.
7. А.Л. Каузов, И.Б. Крылов, В.В. Кузнецов, А.И. Лугинец, И.С. Ротфельд. Применение невзрывных источников возбуждения в структурной сейсморазведке. Сборник "Проблемы вибрационного просвечивания Земли". М., "Наука", 1977.
8. М.Б. Шнеерсон. К вопросу о возможности управления частотой возбуждаемых колебаний в наземной невзрывной сейсморазведке. "Приборы и системы разведочной геофизики", 01/2003.
9. Патент на полезную модель №32610 РФ. 7G01V1/04 "Устройство для возбуждения сейсмических колебаний" (Ю.А. Бару, Г.С. Водаков, И.Т. Зайцев, А.К. Мельник, В.П. Ткаченко) №2003102164/20. Приоритет 20.08.2000. Опубликовано 20.09.03. Бюллетень №26.
10. Авторское свидетельство №674532 G01V1/04 "Активный узел электродинамического источника сейсмических колебаний" (Н.В. Волошин, Ю.А. Бару, А.И. Макогон) №2431014/18-25. Заявлено 20.12.76. Не публиковалось.



Щадин Павел Юрьевич

С самого начала производства невзрывных источников "Енисей" в 1980 году, для выявления технических достоинств и недостатков, для совершенствования их эксплуатационных характеристик, непрерывно шло тестирование источников и их сравнение с другими видами взрывных и невзрывных источников...



Струнов Александр Викторович

Некоторые факты из истории тестирования невзрывных источников производства ОАО "Енисейгеофизика".

Струнов А.В., Щадин П.Ю., ОАО "Енисейгеофизика", г. Енисейск

...Тестовые испытания, о которых пойдет речь ниже, были проведены в период 1990-1994 гг. на полигоне опытного производства в г. Минусинске, в пределах Ново-Михайловской антиклинали.

В испытаниях участвовали невзрывные источники "Енисей ТН", "Енисей СЭМ-60". ГСК-6М, УВС-2 (рис. 1-4).

В результате испытаний было отработано два профиля общей протяженностью 30 км (профиль № 40 и профиль № 52). Результаты сравнительных испытаний представлены на рис.5.

Как видно из рисунков, сравнимые результаты получены с источниками "Енисей ТН" и ГСК-6М. Записи от этих источников заметно слабее, чем от источников "Енисей СЭМ-60" и УВС-2. Наибольшей динамической выразительностью обладают записи от источника УВС-2 (рис. 5Г).

Установка вибрационная сейсмическая УВС-2М была разработана в содружестве с рядом институтов Сибирского отделения Академии наук СССР в 1980-х годах и произведена на опытном производстве в г. Минусинске - филиале ОАО "Енисейгеофизика". Установка УВС-2 (УВС-2М) сконструирована в виде дебалансного вибратора

Рис.1. Электромагнитный источник "ЕнисейТН".

Рис. 2. Электромагнитный источник "Енисей СЭМ-60".

с амплитудой силы около 100 тонн (10^5 Н). Рабочие частоты свипа этого источника 8-60 Гц. Вибратор УВС-2 способен возбуждать как вертикальную, так и горизонтальную компоненту волнового поля.

Поскольку в последнее время многоволновая сейсморазведка получает все большее распространение, нелишне будет вспомнить об истоках внедрения многоволновых исследований, тем более, что в ОАО "Енисейгеофизика" имеется богатый материал, полученный при испытании вибрационных источников возбуждения продольных и поперечных волн УВС-2 (УВС-2М). Различия между источниками УВС-2 и УВС-2М заключаются в следующем: в источнике УВС-2 дебалансы ориентированы поперек продольной оси источника и при возбуждении горизонтальной компоненты формируется поперечная волна, поляризованная поперек линии профиля (S_H волна); в источнике УВС-2М дебалансы ориентированы по продольной оси источника и при возбуждении горизонтальной компоненты формируется поперечная волна, поляризованная по линии профиля (S_V волна), в остальном источники УВС-2 и УВС-2М идентичны.

Работы по методике многоволновой сейсморазведки (МВС), были проведены в 1990-92 гг. на

Рис. 3. Газодинамический источник ГСК-6М.

Рис. 4. Установка вибрационная сейсмическая УВС-2М.

продольных PP и поперечных S_HS_H волнах с применением вибратора УВС-2, на обменных PS_V и S_VP волнах с применением вибратора УВС-2М.

Работы выполнены по следующей методике:

- регистрирующая аппаратура - с/ст. Прогресс-3;
- источник возбуждения колебаний - УВС-2, УВС-2М;
- система наблюдений - фланговая;
- кратность прослеживания - 24;
- длина годографа - 2350 м;
- шаг ПВ, ПП - 50 м;
- вынос ПВ - при работе на продольных PP волнах 200 м; при работе на поперечных S_HS_H волнах 1000 м; при работе на обменных S_VP волнах 200 м; при работе на обменных PS_V волнах 1000 м;
- группирование источников - 1 шт.;
- группирование приемников - 10 шт. СВ-5ц ×50 м; 10 шт. СГ-10 ц×50 м;
- параметры свипа - 10-45 Гц, скорость развертки 0,2 Гц/с;
- усиление записи - 2; 3.

Одной из важнейших особенностей результатов МВС является то, что для получения одной из упругих констант изучаемой среды - коэффициента Пуассона σ, не требуется дополнительного определения плотности. Коэффициент σ вычисляется непосредственно по значению отношения скоростей P и S $\gamma=\upsilon_P/\upsilon_S$, причем вследствие относительности определения γ в этом случае проще избавиться от неопределенности, свойственной интерпретации сейсмических данных из-за неизвестной заранее мощности изучаемого интервала разреза.

Для описания упругих свойств однородной изотропной упругой среды достаточно двух независимых упругих констант. Чаще используют модуль Юнга E и модуль сдвига μ, либо E и коэффициент Пуассона σ; при решении задач на распространение волн чаще используют константу λ - параметр Ламе, функционально связанный с константами E и σ. Связь между парами независимых упругих констант и скоростями упругих волн определяется формулами:

$$\rho\upsilon_P^2=\lambda+2\mu=E(1-\sigma)/(1+\sigma)(1-2\sigma); \quad (4.1)$$

$$\rho\upsilon_S^2=\mu=E/2(1+\sigma), \quad (4.2)$$

где ρ - плотность.

При этом

$$\lambda=\sigma E/(1+\sigma)(1-2\sigma)=2\mu\sigma/(1-2\sigma); \quad (4.3)$$

$$E=\mu(3\lambda+2\mu)/(\lambda+\mu); \quad (4.4)$$

$$\sigma=\lambda/2(\lambda+\mu). \quad (4.5)$$

Из формул (4.1) - (4.3) видно, что величины υ_P и υ_S являются физически независимыми и что обе величины необходимы для получения полной характеристики упругих свойств по сейсмическим данным:

$$\mu=\rho\upsilon_S^2; \quad (4.6)$$

$$\lambda=\rho(\upsilon_P^2-2\upsilon_S^2). \quad (4.7)$$

Большое значение при интерпретации данных МВС имеет величина отношения скоростей поперечных и продольных волн

$$\gamma=\upsilon_S/\upsilon_P. \quad (4.8)$$

В соответствии с формулами (4.1) и (4.2)

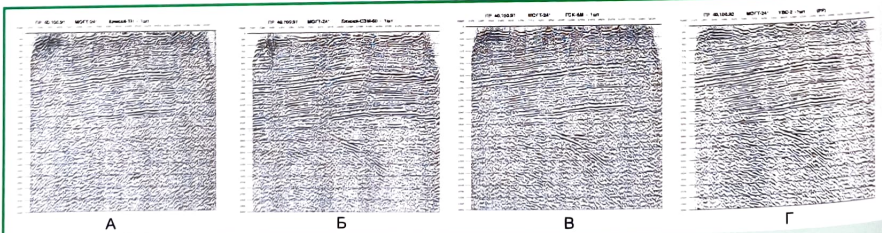
$$\gamma^2=(1-2\sigma)/2(1-\sigma), \quad (4.9)$$

откуда

$$\Sigma=(1-2\gamma^2)/2(1-\gamma^2). \quad (4.10)$$

Как следует из уравнения (4.10), коэффициент Пуассона - единственная упругая константа, которая может быть определена по сейсмическим данным без информации о плотности. Величина σ, определяемая из формулы (4.10) - главный результат многоволновой сейсморазведки.

В сочетании с υ_P или υ_S величина γ также является вполне исчерпывающей характеристикой упругих свойств среды:



А Б В Г

Рис. 5. Временной разрез по профилю №40:
А - Источник «Енисей ТН» - 1 шт,8 накоплений;
Б - Источник «Енисей СЭМ-60» - 1 шт,8 накоплений;
В - Источник ГСК-6М - 1 шт,8 накоплений;
Г - Источник УВС-2М - 1 шт,8 накоплений.

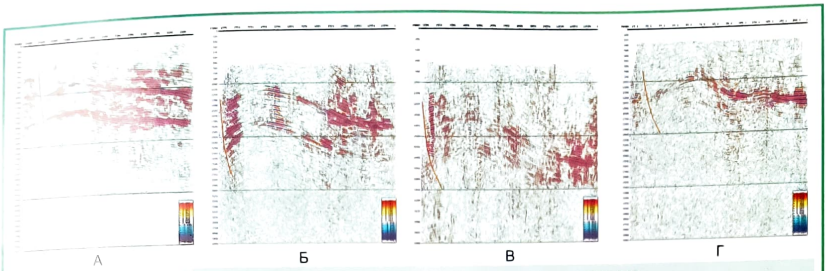


Рис. 6. Временной разрез по профилю № 52,отработанный с источником УВС-2М.
А - Компонента волнового поля PP. *В - Компонента волнового поля ShSh.*
Б - Компонента волнового поля PSv. *Г - Компонента волнового поля SvP.*

$$\lambda=\rho v_p^2(1-2\gamma^2) \qquad (4.11)$$

$$E=\rho v_s^2(3-4\gamma^2)/(1-\gamma^2). \qquad (4.12)$$

На полученных в результате обработки временных разрезах, по всем типам волн (рис.6) выделены все характерные для Ново-Михайловской площади сейсмогеологические комплексы.

Наиболее интенсивные отраженные волны зарегистрированы от прибрежно-морского и лагунного комплексов среднего девона. Следует отметить, что отражения от более глубоких горизонтов отчетливее следятся на временных разрезах на поперечных и обменных волнах. Итогом обработки материалов МВС стали разрезы коэффициента γ (рис. 7, 8).

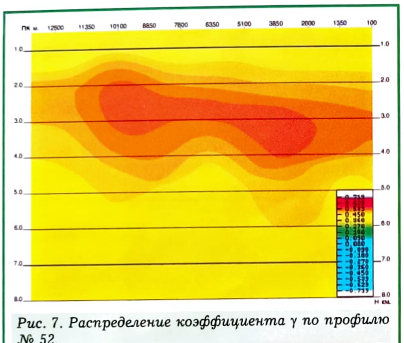


Рис. 7. Распределение коэффициента γ по профилю № 52.

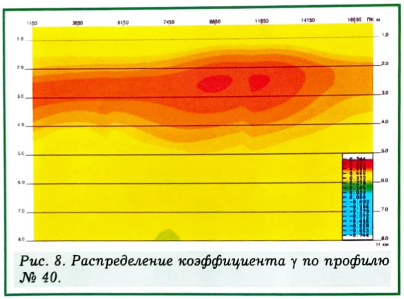


Рис. 8. Распределение коэффициента γ по профилю № 40.

На рис. 7 и 8 приведен характер распределения γ в зависимости от глубины. Наиболее интенсивные аномалии коэффициента γ соответствуют приразломным зонам. Опираясь на значения коэффициента γ можно прогнозировать положение залежи в плане, в особенности той ее части, которая не связана со структурным фактором.

Последующие детальные сейсмические исследования проведенные на Ново-Михайловской площади полностью подтвердили выводы, сделанные по результатам работ МВС. В настоящее время Ново-Михайловская площадь передана под лицензирование, которое состоится в 2005 году.

Учитывая возросший в последнее время интерес геофизиков к многоволновой сейсморазведке, ОАО "Енисейгеофизика" планирует в ближайшее время возобновить производство вибролокатора УВС-2М на новой технической основе.

ЕАГО
СКБ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ
ОАО «Саратовнефтегеофизика»

Геотех-2005

Саратов, 6-7 сентября 2005 г.

Научно-техническая конференция «Современные технологии регистрации геолого-геофизических данных при проведении поисково-разведочных работ на нефть и газ»

Традиционная встреча профессионалов, посвятивших себя обозначенной в тематике конференции проблеме, вновь собирает специалистов организаций самых разных профилей: научных, разведочных, промысловых, производственных. Наши постоянные участники знают насколько результативно живое общение и обмен мнениями на этих встречах.

Заявки на участие в конференции и тезисы выступлений принимаются до 25 августа 2005 г. В заявке необходимо указать Ф.И.О. участников, темы доклада, необходимость выставочных площадей.

Целевой сбор на проведение конференции 2000-00 за одного участника направляется безналичным перечислением на адрес:

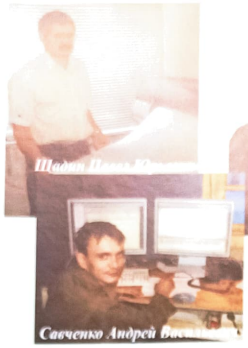
"Встречи на Волге"

Получатель - Саратовское региональное отделение межрегиональной общественной организации «Евро-Азиатское геофизическое общество», филиал №019, ИНН 6452051820, КПП 645201001, Р/с 40703810856070101637, в Саратовском ОСБ №8622 г. Саратова, БИК 046311649, к. сч. 30101810500000000649 Назначение платежа: целевой сбор на проведение конференции.

Организаторы конференции ждут старых друзей и приглашают новых участников.

Адрес: 410019, Саратов, ул. Крайняя,129
Тел: (8452) 64-14-32; факс: (8452) 64-14-52:
e-mail: skbsp@san.ru

ОРГКОМИТЕТ



Богатый опыт применения электромагнитных источников «Енисей» в сложнейших сейсмогеологических условиях западной части Сибирской платформы опровергает тезис, что... применение электромагнитных источников эффективно лишь при простых сейсмогеологических условиях...

Результаты региональных работ с использованием источника "Енисей КЭМ-4" по маршруту регионального профиля "п. Диксон - оз. Хантайское".

Щадин П.Ю., Тимофеев В.А., Савченко А.В., ОАО "Енисейгеофизика", г. Енисейск

Среди некоторой части теоретиков невзрывной сейсморазведки, а также верящих в их непререкаемый авторитет практиков-сейсморазведчиков бытует мнение об ограниченной нише, которую занимают электромагнитные источники в общем спектре источников сейсмических волн. Утверждается, что применение электромагнитных источников эффективно лишь при простых сейсмогеологических условиях, при небольших глубинах залегания целевых отражающих горизонтов, а также при изучении верхней части разреза (ВЧР). Богатый опыт применения электромагнитных источников "Енисей" в сложнейших сейсмогеологических условиях западной части Сибирской платформы опровергает этот тезис.

Рис. 1. Группа электромагнитных источников "Енисей КЭМ-4" при работе по региональному профилю "Диксон - оз. Хантайское".

В частности, проведенные в полевом сезоне 2003-2004 гг. сейсморазведочные работы МОГТ в южной части регионального профиля п.Диксон - оз.Хантайское, показывают, что область применения электромагнитных источников "Енисей" значительно шире, чем предполагалось ранее.

Работы проводились в крайне сложных природных условиях - в зимнее время за полярным кругом (рис. 1)

Среднегодовая температура воздуха -10°С, средняя температура января -30°С.

По данным геологической съемки район характеризуется сложным геологическим строением с широко развитой высокоамплитудной пликативной и дизъюнктивной тектоникой. Осадочный чехол представлен отложениями

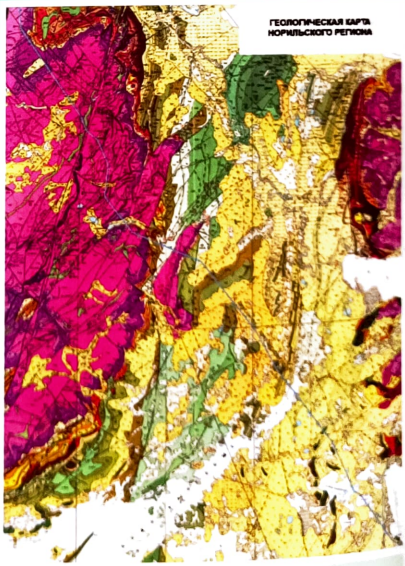


Рис. 2. Геологическая карта на участке проложения регионального профиля "Диксон - оз. Хантайское".

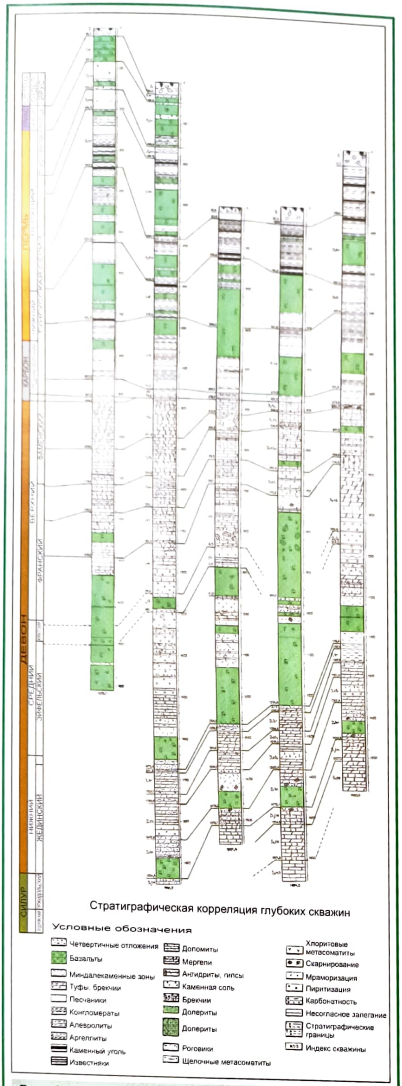


Рис. 3. Разрезы глубоких скважин, иллюстрирующие широкое развитие траппового магматизма в районе работ.

широкого диапазона геологического времени - от рифея до триаса, а также мезозойскими отложениями (рис. 2).

Магматические комплексы представлены интрузивными и эффузивными образованиями верхнепермского и нижнетриасового возраста. Базальты и туфолавовые образования имеют суммарную мощность от 2140 до 4635 м. (рис. 3)

По маршруту регионального профиля "Диксон-оз.Хантайское" широко проявлен трапповый магматизм как инъекционный, так и покровный. Инъекционный магматизм представлен магматическими телами самой причудливой морфологии: секущими и послойными, внедрившимися по разломным зонам, по границам структурно-стратиграфических несогласий, по ослабленным зонам кливажа и осях линейных складок. В связи с этим магматические тела имеют сложное строение, сочетающее в себе рвущие дайки и штоки, служившие каналами проникновения магмы из глубинных очагов к вышележащим стратиграфическим уровням и подвода магматического расплава к послойным инъекциям и поверхностным излияниям.

Рельеф местности - пересеченный, перепад альтитуд вдоль профиля составляет более 500 м.

В этих сложнейших поверхностных и сейсмогеологических условиях поставленные геологические задачи потребовали применения нестандартной методики получения сейсмических данных.

В зимнем полевом сезоне 2003-2004 г. было выполнено 144,5 км сейсморазведки МОГТ со 100-кратным перекрытием с применением группирования 4-х импульсных электромагнитных источников "Енисей КЭМ-4" на базе 50 м при накапливании 8-16 воздействий на пункте взрыва. Длина расстановки составляла 10-12 км, шаг пунктов взрыва и пунктов приема 50м. Для регистрации упругих колебаний использовалась телеметрическая система Sersel-388, длина записи 18 с, шаг дискретизации 2 мс. Управление работой источников производилось по радиоканалу УКВ с использованием системы синхронизации SGS-S.

На процедуру записи 1 ф.н. затрачивалось в среднем 2,5 мин. Возбуждение сейсмического сигнала и его регистрация осуществлялись преимущественно в ночное время при минимальном уровне микросейсм. В дневное время проводились работы по расстановке приемных кос и источников возбуждения упругих колебаний.

Полевой сейсмический материал характери-

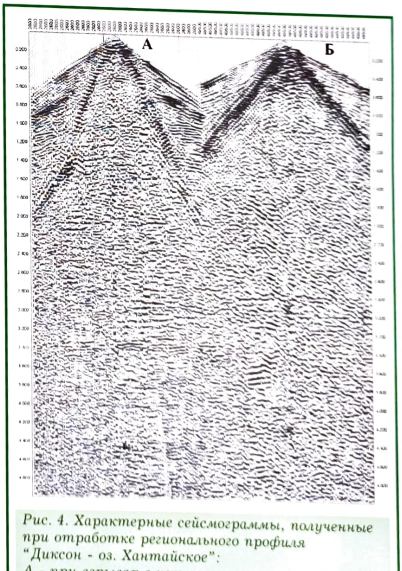


Рис. 4. Характерные сейсмограммы, полученные при отработке регионального профиля "Диксон - оз. Хантайское":
А - при взрывах в четвертичных отложениях,
Б - при взрывах в вулканогенных образованиях.

"ЕНИСЕЙ" ОТ ОАО "ЕНИСЕЙГЕОФИЗИКА"
ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

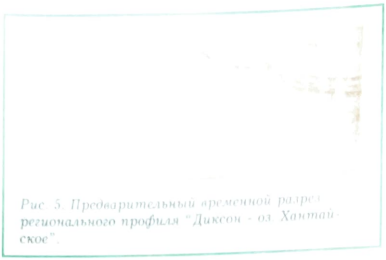


Рис. 5. Предварительный временной разрез регионального профиля "Диксон - оз. Хантайское".

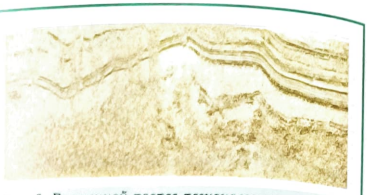


Рис. 6. Временной разрез регионального профиля "Диксон - оз. Хантайское" после завершения цифровой обработки.

ется в основном хорошим качеством. На сейсмограммах распознаются основные отражения, известные в Норильском и Игарском районах (рифейские и венд-кембрийские). Уверенно следятся преломленные волны в первых вступлениях. Однако, в зависимости от поверхностных условий возбуждения, качество прослеживания отражающих горизонтов существенно меняется. В северо-западной части профиля, где на поверхности широко развиты вулканогенные туфолавовые образования, амплитуда отражающих горизонтов существенно ослаблена, а в юго-восточной части профиля, где на поверхности преобладают четвертичные отложения, целевые отражения видны на большей части первичных сейсмограмм ОПВ (рис. 4).

Кроме того, в северо-западной части профиля на качество сейсмических данных существенное влияние оказывала промышленная деятельность Норильского рудного района. Фон промышленных и электрических помех зачастую значительно превышал уровень полезного сигнала.

Тем не менее, выбранная методика исследований позволила уже на предварительном разрезе проследить основные группы отражающих горизонтов (рис. 5).

Цифровая обработка включала в себя стандартные процедуры, хорошо известные любому геофизику-обработчику: описание геометрии, редакция шумящих каналов, регулировка амплитуд за геометрическое расхождение и поглощение, подавление звуковой волны, расчет и ввод статики по преломленным волнам, поверхностно-согласованная деконволюция в широком частотном диапазоне, подавление поверхностных волн двухмерным fk-фильтром, расчет и ввод кинематических поправок, ввод остаточных статических поправок, подобранных несколькими итерациями статики и кинематики, применение переменной по времени фильтрации.

В результате частотной и кинематической обработки удалось значительно повысить разрешенность временного разреза и провести корреляцию основных сейсмических реперов (рис. 6).

Интерпретация временного разреза в сопоставлении с комплексом геолого-геофизических данных позволила изучить глубинное геологическое строение до 19 км (рис. 7).

Оценивая эффективность невзрывных источников "Енисей" при региональных исследованиях, можно сравнить информативность полученных сейсмических данных с данными, полученными с использованием взрывного источника. С небольшим перерывом, к северной части профиля примыкает его продолжение, отработанное со взрывным источником (рис. 8).

Взрывная часть профиля отработана группированием двух взрывных скважин на ПВ глубиной 15 м. Масса заряда составляла 15 кг. При центральной системе наблюдений кратность составила 24, база наблюдений 4700 м, максимальное удаление ПВ-ПП 2550 м. Расстояние между ПВ 100 м, между ПП - 50 м.

При сопоставимо сложных сейсмогеологических условиях и при одинаковом фоне промышленных помех, глубинный разрез, полученный с использованием невзрывных источников "Енисей", выглядит предпочтительнее. Конечно же, кратность 100 и кратность 24 - это далеко не одно и то же, однако всегда нужно помнить, что кратность 100 при взрывных работах экономически никогда не будет оправдана.

Учитывая то, что полевые работы по усложненной методике с применением невзрывных источников "Енисей" обошлись заказчику на 20% дешевле, чем с взрывами, а также то, что невзрывная технология позволила изучить геологическое строение на глубину 19 км, можно с уверенностью сделать вывод о целесообразности применения электромагнитных источников "Енисей" при глубинных сейсмических исследованиях.

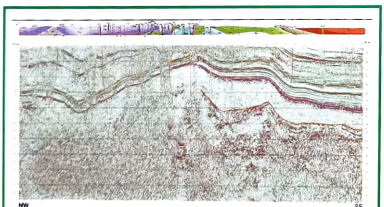


Рис. 7. Глубинный сейсмический разрез регионального профиля "Диксон - оз. Хантайское" с элементами интерпретации.

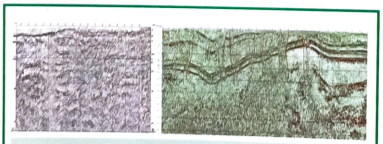


Рис. 8. Фрагмент глубинного сейсмического разреза по северной части регионального профиля "Диксон - оз. Хантайское". Слева глубинный разрез,полученный с применением взрывного источника,справа с применением невзрывного источника "Енисей".

Дроздов Анатолий Петрович

...В ОАО "Сибнефтегеофизика" работы с "Енисеем" проводятся с 2003 г. За два полевых сезона отработано более 1900 пог.км съемки 2D и 50 км^2 съемки 3D. Это более 40000 производственных наблюдений с применением различных типов источников СЭМ-50, СЭМ-100, КЭМ-4 и КЭМ-2-130...

Грехов Илья Олегович

Опыт применения сейсмоисточников "Енисей" в ОАО "Сибнефтегеофизика"

Дроздов А.П., Грехов И.О., ОАО "Сибнефтегеофизика", г. Новосибирск

Источники ряда "Енисей" позволяют решать задачи возбуждения сейсмических колебаний в ряде ситуаций, когда использование взрывов запрещено или физически неэффективно - жилые, промышленные, природоохранные территории, участки с большой мощностью ЗМС или вечной мерзлотой. Преимуществом перед вибратором является возможность их использования на чрезвычайно пересеченной местности и на льду водоемов относительно небольшой толщины, лучшая идентичность накапливаемых воздействий даже на рыхлой поверхности и меньшая стоимость.

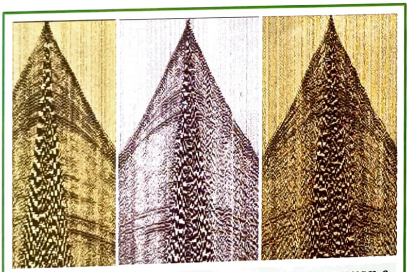


Рис. 1. Полевые записи, полученные на участках с различными поверхностными условиями.

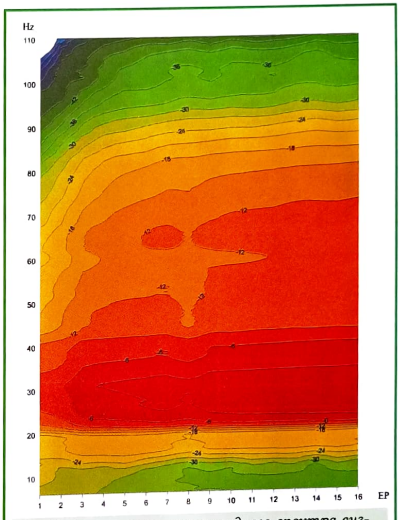


Рис 2. Зависимость амплитудного спектра сигнала от порядкового номера удара, 5 СЭМ-100 (при EP8 отказал 1 СЭМ)

В ОАО "Сибнефтегеофизика" работы с "Енисеем" проводятся с 2003 г. За два полевых сезона отработано более 1900 пог.км съемки 2D и 50 км^2 съемки 3D. Это более 40000 производственных наблюдений с применением различных типов источников СЭМ-50, СЭМ-100, КЭМ-4 и КЭМ-2-130.

Для всех разнообразных условий выполнены опытные работы по оптимизации методики возбуждения и регистрации, проведено сравнение различных видов сейсмических источников. С участием Института гидродинамики СО РАН проведены исследования по оптимизации

Рис. 3. Сейсмограммы, полученные с разным числом накоплений (1, 2, 4, 8, 16 ударов).

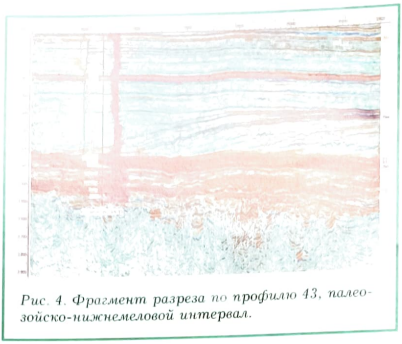


Рис. 4. Фрагмент разреза по профилю 43, палеозойско-нижнемеловой интервал.

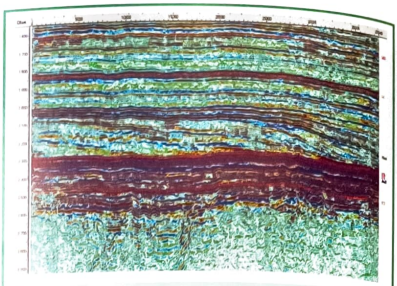


Рис. 5. Фрагмент разреза по профилю 44, палеозойско-нижнемеловой интервал.

параметров возбуждения на ледовом покрове водоемов.

На рис.1 приведены полевые записи, полученные с группой из трех СЭМ-100 на разных участках одного профиля протяженностью 10 км - в песчаной пойме, на верховом болоте и на холме, где мощность ЗМС вырастает до 60 м. Очевидна высокая степень подобия сейсмограмм, несмотря на различие условий возбуждения.

Стабильность излучения наглядно проявляется и в другом аспекте. Изменение рабочего напряжения сопровождается закономерным изменением формы записи акселерометра, установленного на реактивной массе (известный факт), но практически не сказывается на спектре сейсмического сигнала, а при напряжении 800 В и более перестает влиять также и на амплитуду.

Идентичность накапливаемых сигналов, обусловленная неразрушающим воздействием на грунт, проиллюстрирована на рис. 2. Группа из четырех СЭМ-100 устанавливалась на рыхлом снегу (сбоку от накатанного профиля), записывались одиночные воздействия.

Видно, что после 3-4 воздействия спектр сигнала становится постоянным. Такой эффект экспериментально подтвержден при числе воздействий на одной точке до нескольких сотен. Это очень важно при проведении ВСП, а также при накапливании сигнала для всех видов работ, особенно если вместо простого суммирования воздействий применяются алгоритмы адаптивного подавления шумов, основанные на модели "постоянство полезного сигнала - изменчивость помехи".

При работе с поверхностными источниками группирование является важным средством борьбы с помехами как регулярными, так и случайными. Необходимость подавления поверхностной волны линейным группированием на базе 30 м и более связана, в первую очередь, с соотношением энергии поверхностных и отраженных волн, которое на один-два порядка выше, чем для погруженного источника и суммарный сигнал может выходить за пределы динамического диапазона сейсмоприемников. Экспериментальные данные свидетельствуют, что общая энергия поверхностной волны на оси линейной группы мало меняется с увеличением числа источников при пропорциональном увеличении базы, а средняя частота низкоскоростных волн закономерно уменьшается.

Увеличение полезного сигнала за счет наращивания числа источников в группе также приводит, по технологическим причинам, к увеличению базы группы. Как следствие, растет дисперсия скоростей в ЗМС и разность кинематической поправки в пределах базы группы, усиливается эффект подавления высоких частот. Построение зависимости амплитудных спектров от числа источников в группе, длина которой пропорциональна их числу, показало, что база группирования 40 м является оптимальной для данных условий (восточный склон Красноленинского свода, Зап.Сибирь). Теоретическая оценка подавления высоких частот линейной группой за счет кинематического фактора в сопоставлении с экспериментальными данными свидетельствует, что максимальное увеличение отношения мощности источника к длине его транспортной базы очень желательно.

Оптимизация параметров возбуждения и регистрации позволила достичь в поле высоких результатов. Так, силами 2 отрядов за 3,5 месяца отработано 1400 пог.км профилей (27,5 тыс.ф.н.) в условиях сложного рельефа и получить материал высокого качества. Примеры полученных в результате сейсмических разрезов представлены на рис. 4, 5.

Для сопоставления разных типов источников

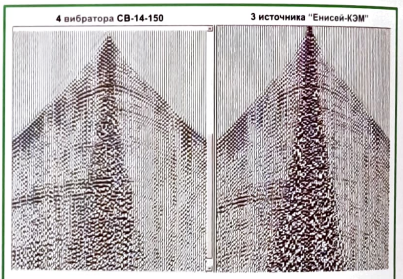


Рис. 6. Сравнение сейсмограмм,полученных с группой из 4-х вибраторов СВ-14-150 и группой из 3-х источников "Енисей КЭМ" (КЭМ-4_КЭМ-2-130_КЭМ-4).

проведена отработка участка профиля 2D с группой из трех КЭМ-4 и с 4 вибраторами СВ-14-150 (рис. 6), а также отработан фрагмент 3D (до получения полной кратности) с группой из 4 СЭМ-100 и с зарядами 0,5 кг ТНТ в скважинах глубиной 15 м (рис. 7). Полученный материал позволил сделать вывод, что соотношение амплитуды поверхностных и отраженных волн для КЭМ-4 выше в 2 раза, чем для вибраторов, хотя это может быть связано и с различиями в геометрии групп. В результате обработки получены равноценные разрезы.

Для решения еще одной непростой задачи - проведения сейсмических работ на льду Оби

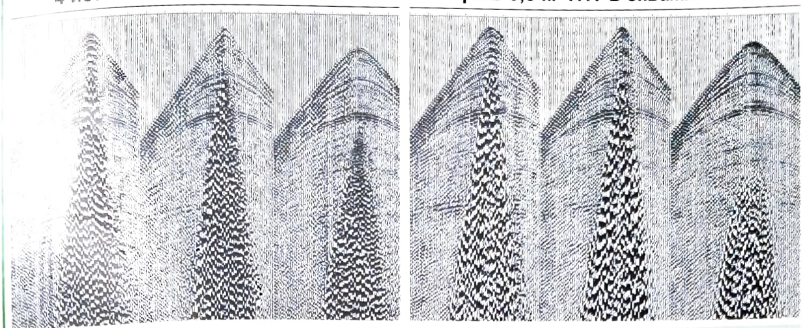


Рис. 7. Слева - сейсмограмма, полученная с 4 СЭМ-100; справа - на том же пикете, с зарядом 0,5 кг тротила в скважине глубиной 15 м; пойма р. Обь.

совместно с Институтом гидродинамики СО РАН выполнены исследования по воздействию источников "Енисей" на ледовый покров водоемов. Рассчитаны эффекты импульсного нагружения льда и диаграммы нагрузки на естественный и усиленный лед. Найдено оптимальное соотношение между рассредоточением нагрузки на лед и ограничением базы группы, разработана технология подготовки и отработки ледовых профилей (информация является "know how"). Всего выполнено более 2 тыс.ф.н. непосредственно на ледовом покрове р. Обь, получен полевой материал хорошего качества.

Письмо в редакцию

Уважаемый главный редактор!

В журнале «Приборы и системы разведочной геофизики» № 04/2004 была опубликована статья Колосова Б.М. (ЗАОр «НП» Заприкаспийгеофизика» г. Волгоград) «Сопоставление источников сейсмического волнового поля по тротиловому эквиваленту», в которой «предпринимается попытка провести оценку различных источников возбуждения сравнительно с тротиловым зарядом» с целью устранения затруднений при сопоставлении силовых параметров излучателей (источников).

Приведенная в статье сводка «силовых параметров импульсных и вибрационных источников (табл. 1) носит очевидный рекламный характер помимо воли автора, если он этого и не хотел, содержит многочисленные ошибочные данные.

Например: расчетная энергия для «Геотона» указана в 300 кДж, а для «Енисея СЭМ-100» - 10 кДж.

Фактически по техническому исполнению и расчетным параметрам силовые характеристики данных электромагнитных источников должны соотноситься как 1:4. Источник «Геотон» имеет, т.к. он представлен в документах на «полезную модель», один электромагнитный двигатель, а «Енисей СЭМ-100» - четыре электромагнитных двигателя. Двигатель «Геотона» является копией двигателей ряда источников «Енисей».

По фактической сейсмической эффективности «Геотон» (один двигатель) уступает «Енисею СЭМ- 100», как минимум, в 8 раз (материалы сравнительных испытаний данных источников от 21.04.- 21.04.05 г).

Ошибочность приведенных данных можно было бы списать на отсутствие опыта работы у ЗАО «Заприкаспийгеофизика» (Колесов Б.М) с импульсными источниками ряда «Енисей» и «Геотон», если бы далее автор не приводил расчетные данные тротилового эквивалента для «Геотона» - 80 г, для «Енисея СЭМ- 100» - 26 г, для пневматического источника «Пульс- 6С» - 2 г.

Фактически по тротиловому эквиваленту на первом месте должен был бы стоять источник «Пульс - 6С», за ним с 2-4 раза меньшим эквивалентом «Енисей СЭМ-100», а далее, с эквивалентом меньшим в 15 - 30 раз, «Геотон».

Незаслуженно, до наоборот, оценен тротиловый эквивалент относительно «Геотона» газодинамических источников ГСК-6М (23 г.?).

Нельзя признать достоверными оценки тротилового эквивалента и других импульсных источников:

Си-64 (газодинамический с 4-мя излучателями Гомельского СКБ), пневматические ГСК-1П, ГСК- 5, ГСК -10С, электродинамический «Сейсмодин 4800».

Исходя из имеющегося опыта, следует признать неудачной попытку выбора за эталон «энергоемкость» 1 кг ВВ.

Так называемая «энергоемкость» 1 кг ВВ с позиции «Исполнителя» сейсморазведочных работ в первую очередь определяется технической возможностью выбора условий возбуждения: расположение заряда ниже подошвы ЗМС, в пластичных глинах, в водоносном горизонте, с водяной укупоркой и т. д.

Выбор «Исполнителем» невзрывного источника, излучатель которого устанавливается на границе земля - вода - воздух будет зависеть от проходимости источника в конкретной местности, требований промышленной и экологической безопасности, от степени согласования силового воздействия излучателя с прочностными характеристиками грунта (снежного покрова, льда) и т. д.

На достигнутой стадии развития средств управления и синхронизации невзрывных источников, регистрирующей аппаратуры, программного обеспечения, методики полевых работ взрывная технология лишена монополии с позиции обеспечения глубинности исследований, разрешенности временных разрезов, детальности исследований целевого интервала разреза.

Число сторонников применения взрывной технологии резко уменьшится в случае, если будет введена законодательно долгосрочная ответственность «Заказчика работ», а не «Исполнителя работ» за последствия взрывной технологии: разрушение водоносных горизонтов, развитие карста в зонах распространения карбонатных отложений, образование провалов за счет проседания грунтов в камуфлеты от взрывов, «минирование» сейсмических профилей остатками ВМ и «отказными» зарядами и т.д.

По мнению читателя более прогрессивным подходом к оценке силовых и энергетических характеристик невзрывных источников является параметризация импульса возбуждения, разработка и внедрение отечественных средств измерения ускорений, смещений на элементах излучателей (на активных и реактивных массах, на опорных плитах излучателей), тензодатчиков для измерения давлений от опорной плиты излучателя в грунте.

Все выше перечисленные средства измерений должны быть проэталонированы в одном и том же контрольно-измерительном центре.

ОАО «Енисейгеофизика», горный инженер В.П. Смирнов

ИМПУЛЬСНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИС

ТЕХНИЧЕСКИ

ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИСТ

	Наименование параметров	КЭМ-4	КЭМ-4 круглые водонепроницаемые излучатели	КЭМ-4М	КЭМ-2	ВЭМ-100
1	Кол-во двигателей (электромагнитов)	4	4	4	2	4
2	Расчетное усилие - суммарное (тонно - сил)	100	100	100	50	100
3	Площадь плиты излучателя /излучателей, м^2	0,5/2,0	0,47/1,88	0,47/1,88	0,51/1,02	3,4/6,8
4	Расчетное воздействие на грунт, кг/см^2	5,0	5,32	5,32	4,9	1,5
5	Активная масса излучателя (якорь + плита), кг	580	380	380	660	1600
6	Реактивная масса излучателя (пригруз+индуктор), кг	1210	1260	1260	1040	1250
7	Соотношение масс: акт/реакт.	2,09	3,32	3,32	1,58	0,8
8	Вес источника без транспортного средства и генератора 380В, кг	10200	9600	9600	6200	6000
9	Время подготовки установки к воздействиям в режиме накопления, не более сек	5	5	5	5	5
10	Время отработки 1 ф.н. при Σ8 воздействий с переездом на след. ПВ, минут	2,5-5.0	2,5-5.0	2,5-5.0	2,5-5.0	1,5-2.0*
11	Работоспособность в диапазоне температур в градусах Цельсия	+40-(-50)	+40-(50)	+40-(50)	+40-(-50)	-2-(+40)

ЕНИСЕЙГЕОФИЗИКА

ОАО «ЕНИСЕЙ
663180, Красно
ул. Кирова, 81

ИСТОЧНИКИ

от компании "Енисейгеофизика"

Енисей

КИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

СТОЧНИКОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ РЯДА "ЕНИСЕЙ"

-100	СЭМ -100	СЭМ -100М	СЭМ-50 ледовый	СЭМ-20 ВСП и т. пр.	СЭМ-150М2	СЭМ-100М2	СЭМ-50М2	КЭД-15/35	КИС	Примечания
	4	4	2	1	6	4	2	2	1	
0	100	100	50	25	150	100	50	15	17	
6,8	1,05/2,10	1,04/2,08	0,84/1,68	0,66/1,32	1,4/2,8	0,96/1,92	0,51/1,02	0,84/1,68	0,5/0,5	
5	4,76	4,8	2,98	3,78	5,36	5,2	4,9	0,9	3,4	
00	1153	1070	710	490	1333	1041	624	670	335	
50	2526	2556	1270	800	3205	2278	1164	2220	3130	
3	2,19	2,39	1,8	1,63	2,4	2,18	1,9	3,31	9,3	
00	7600	7500	4600	1600	9180	6640	3800	5800	9400	
	5	5	5	5	5	5	5	-	-	
.0*	1,5-3.0	1,5-3.0	1,5-3.0	1,5-3.0	1,5-3.0	1,5-3.0	1,5-3.0	-	-	*при условии комплектации источника GPS-эхалотом
40)	+4-(-50)	+4-(-50)	+4-(50)	+4-(-50)	+4-(-50)	+4-(-50)	+4-(50)	+4-(-50)	+4-(-50)	температурный диапазон санных источников ограничен наличием снега

СЕЙГЕОФИЗИКА»
сноярский край, г. Енисейск
81

тел.: 8(39115) 2-21-63
тел./факс: 8(39115) 2-54-30

E-mail: postmaster@egf.krasnoyarsk.su
egf@mail333.com

Применение импульсного источника
при проведении работ ВСП
дает ряд неоспоримых преимуществ
перед взрывом в скважине...

Мартюшев Андрей Александрович

Применение импульсного источника сейсмических колебаний "Енисей" при проведении ВСП

Мартюшев А.А., ОАО "Хантымансийскгеофизика", ЦАГГИ, г. Тюмень

...Практика показала, что проведение сейсморазведки с использованием невзрывных источников позволяет упростить полевые работы, снизить их стоимость и повысить безопасность за счет отказа от использования ВВ, исключить, или свести к минимуму ущерб, наносимый окружающей среде.

В ОАО "Хантымансийскгеофизика" были проведены сейсморазведочные работы методом вертикального сейсмического профилирования (ВСП) в республике Саха (Якутия), с применением импульсного источника сейсмических колебаний "Енисей КЭМ-4" (рис. 1). Из анализа результатов работ следует:

1. При возбуждении сейсмического сигнала импульсным источником "Енисей", разрушения почвы не происходит. По этой причине условия возбуждения не меняются и возбуждаемый импульс идентичен на всех физических наблюдениях. Добиться идентичности возбуждаемого импульса при взрыве практически невозможно.

2. Накопление сигнала, проводимое при работах с импульсным источником сейсмических колебаний, позволяет в значительной степени понизить уровень случайных помех. Без накопления сейсмического сигнала это невозможно, так как ВСП в стандартной методике - это однократные наблюдения.

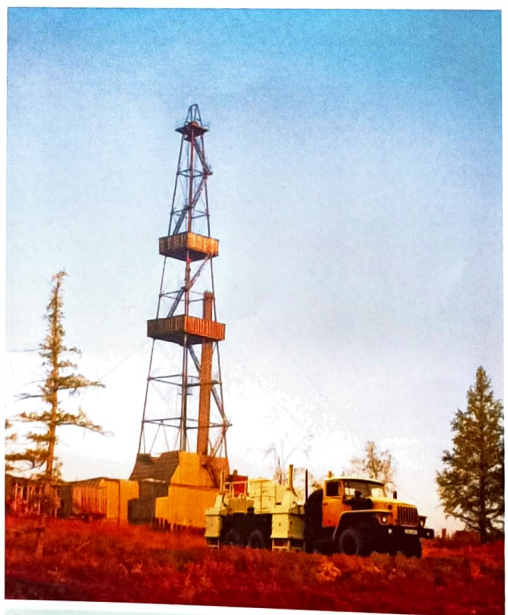


Рис. 1. Электромагнитный источник "Енисей КЭМ-4" при отработке ВСП в глубокой скважине.

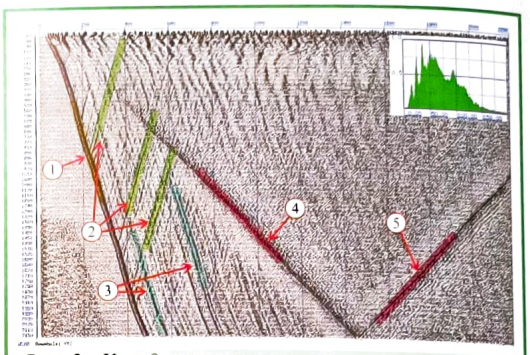


Рис. 2. Исходное волновое поле и его амплитудно-частотный спектр. Пункт взрыва 1 (ближний).
Цифрами обозначено:
1 - прямая падающая волна;
2 - отраженные продольные волны;
3 - кратные падающие волны;
4 - падающая гидроволна;
5 - отраженная гидроволна.

3. Диапазон частот, зарегистрированных от импульсного источника 0-150 Гц, что не уступает взрывному источнику.

В геологическом строении территории работ принимают участие образования трех структурно-тектонических этажей, характеризующих определенные этапы ее развития. Они отделены друг от друга региональными перерывами и угловыми несогласиями.

Нижний этаж - кристаллический фундамент - включает породы архея, нижнего протерозоя, характеризующие доплатформенный этап развития. В пределах рассматриваемой площади фундамент сложен метаморфическими и магма-

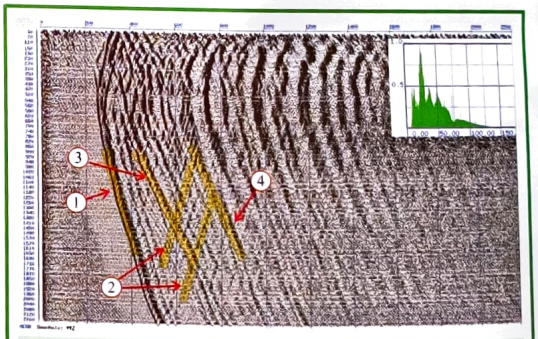


Рис. 3. Исходное волновое поле и его амплитудно-частотный спектр. Пункт взрыва 2 (дальний).
Цифрами обозначено:
1 - прямая падающая волна;
2 - отраженные продольные волны;
3 - обменные падающие волны типа PS;
4 - падающие поперечные волны.

Рис. 4. Мигрированный разрез ВСП по отраженным продольным волнам.

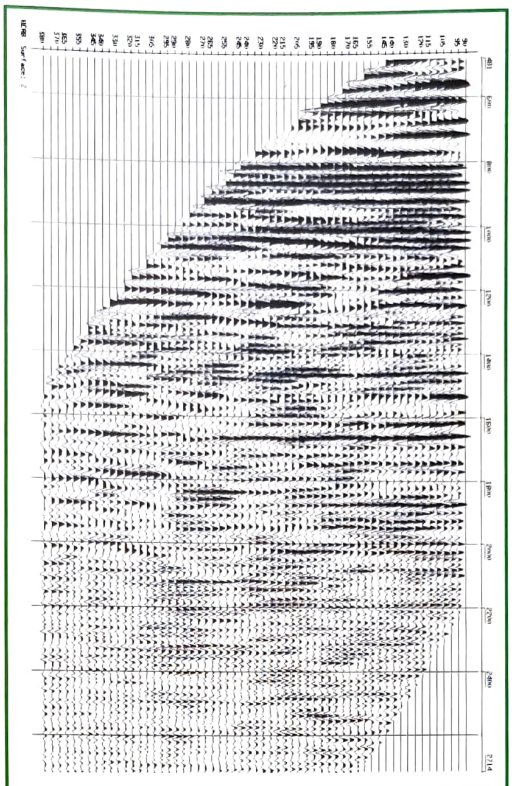


Рис. 5. Мигрированный разрез ВСП по отраженным обменным волнам типа PS.

тическими образованиями, обладающими неоднородной намагниченностью и плотностью.

К среднему структурно-тектоническому этажу относятся отложения верхнего докембрия и нижнего палеозоя, знаменующие платформенный этап развития.

Венчается разрез отложениями верхнего структурно-тектонического этажа, который включает терригенно-угленосные образования мезозоя, выполняющие наложенные впадины и прогибы.

Анализ сейсмограмм ВСП показывает, что все структурно-тектонические этажи (кристаллический фундамент находится на глубине менее 2000 метров) имеют свое отражение в исходных волновых полях.

Исследования велись по стандартной методике, при подъеме зонда. По каждой скважине было отработано по четыре пункта взрыва, один ближний и три дальних. Возбуждение производилось одним источником "Енисей КЭМ-4". Наблюдения велись с накоплением сигнала на каждом физ. наблюдении. Количество накопляемых воздействий для ближних и дальних ПВ было различным. Для ближних ПВ оно составляло 5-6 воздействий, для дальних ПВ 10-11.

На рис. 2 и 3 проиллюстрированы волновые поля вертикальной компоненты, зарегистрированные на одной из скважин, с ближнего и дальнего ПВ соответственно.

Из представленных рисунков хорошо видно, что зарегистрированные волновые поля хорошего качества и пригодны для поляризационной обработки. На ближнем и на дальнем ПВ четко прослеживаются времена первых вступлений продольных волн, а также отраженные и обменные волны.

В результате обработки был получен набор стандартных для ВСП результатов. На рисунках 4 и 5 проиллюстрированы мигрированные разрезы ВСП, построенные по отраженным продольным и отраженным обменным волнам соответственно.

Богатый опыт использования электромагнитных источников "Енисей" в ОАО "Хантымансийскгеофизика" показывает, что использование

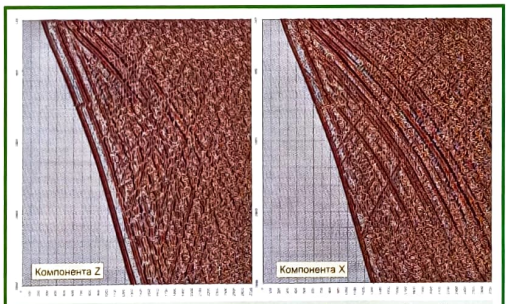


Рис. 6. Исходное волновое поле ВСП в глубокой скважине на территории Западной Сибири. Источник возбуждения "Енисей СЭМ-100", группирование 4-х источников, 5-7 накоплений.

этих источников геологически и экономически оправдано не только при работах ВСП, но и при 2D и 3D сейсмических исследованиях. Работы ВСП, проведенные в Западной Сибири с источником "Енисей", наглядно демонстрируют, что глубинность исследований в 4 и более км далеко не предел для импульсных электромагнитных источников этого типа (рис. 6).

Исходя из результатов работ ВСП, проведенных во многих регионах России с электромагнитным источником "Енисей", можно с уверенностью сделать вывод о целесообразности использования источника этого типа для вертикального сейсмического профилирования глубоких скважин.

Результаты испытаний электромагнитного импульсного источника типа "ЕНИСЕЙ СЭМ-100" в условиях левобережной части Саратовской области

Заложных М. А., Барулин Д. А., ОАО "Саратовнефтегеофизика", г. Саратов

В 2005 г. в системе ОАО "Саратовнефтегеофизика" в условиях левобережной части Саратовской области были проведены опытные работы для определения эффективности использования электромагнитного импульсного источника (ЭИИ) "Енисей СЭМ-100", а также его сравнения с вибрационным источником (ВИ) типа СВ-27/150-362.

В результате проведенных работ на Сосновогорском лицензионном участке, северная часть которого относится к южному склону Жигулевского свода, южная часть участка располагается на территории Прикаспийского прогиба, были получены первичные полевые сейсмограммы при разном количестве импульсных источников и различном количестве накоплений.

Таблица 1. Параметры возбуждения колебаний ЭИИ "Енисей СЭМ-100".

№ записи	Кол-во ЭИИ	Кол-во накоплений	Кол-во позиций	Кол-во воздействий	Пикет (м)
1	3	4	1	12	600
2	3	6	1	18	600
3	3	8	1	24	600
4 - 14	3	6	1	18	650-1150
15 - 42	2	5	2	20	1200-2550

На том же интервале профиля были выполнены сейсмические наблюдения с использованием виброисточника, параметры возбуждения для которого были выбраны на основании опытных работ, выполненных ранее на данной площади.

Таблица 2. Параметры возбуждения колебаний виброисточником.

№ записи	Кол-во вибро-источников	Кол-во накоп-лений	Кол-во позиций	Кол-во воздей-ствий	Пикет (м)
15 - 42	2	5	2	20	650-1150

Камеральные работы обеспечивались партией обработки ОАО "Саратовнефтегеофизика", граф обработки первичного материала (ПМ) состоял из следующих этапов:

- редакция, гармонизация записи, автоматическая регулировка усиления;
- корректирующая фильтрация (деконволюция, полосовая фильтрация);
- подавление среднескоростных волн помех (фильтрация в FK-области).

При проведении анализа и сопоставлении полученных сейсмических материалов на разных этапах обработки по сейсмограммам были рассчитаны АЧХ, а также количественные оценки качества ПМ. Среди них анализировались, как наиболее информативные, следующие характеристики записи:

- соотношение сигнал помеха (S/N) - определяет, во сколько раз по амплитуде полезный сигнал превышает нерегулярные помехи;
- разрешающая способность импульса (RP) - зависит от доминирующей частоты сигнала, его вариации согласуются с хорошо видимыми изменениями АЧХ;
- характеристическая разрешающая способность записи (RPN) - комплексный параметр, определяющийся на основе двух предыдущих.

Окно расчета АЧХ и количественных оценок (для сейсмограмм) включало целевые горизонты (карбона и девона) в интервале 700-1200 мс на удалениях 400-1250 м (из расчета исключены трассы, содержащие конус звуковых помех с кажущимися скоростями до 500 м/с). Значения рассчитанных оценок приведены в таблицах 3 и 4.

Определение необходимого количества используемых единичных источников, а также числа накоплений сигналов на одном пункте возбуждения является принципиально важным этапом при выборе технологии полевых работ. Оптимизации указанных параметров предполагает достижение максимально возможного уровня энергии регистрируемого полезного сигнала наряду с сохранением экономической эффективности работ. При проведении опытных работ количество накоплений тестировалось в пределах от 4-х до 10-ти при одновременной работе 2-х или 3-х источников.

Тестирование параметров накоплений показало большие флуктуации оценок S/N (от 0,5 до 3,0), что возможно обусловлено различиями в условиях возбуждения в отдельных точках на профиле. Имеющийся материал недостаточен для проведения строгого статистического анализа, который позволял бы делать вывод, опираясь только на количественные критерии, поэтому, помимо расчета количественных оценок, выполнялся также визуальный контроль качества всей совокупности полученных с ЭИИ сейсми-

Таблица 3. Количественные оценки по сейсмограммам при различных параметрах возбуждения для ЭИИ "Енисей СЭМ-100".

этап обработки	1			2						3					
параметры фильтра *	Нет			10/14-60/70 Гц			10/14-110/120 Гц			10/14-60/70 Гц			10/14-110/120 Гц		
тип оценки	RP	S/N	RPN	RP	S/N	RPN	RP	S/N	RPN	RP	S/N	RPN	RP	S/N	RPN
номер записи	значение оценки														
1	31.39	4.04	25.17	60.58	1.17	32.60	67.76	0.88	31.74	59.35	16.72	56.00	68.00	2.01	45.38
2	31.34	4.12	25.22	60.81	1.17	32.85	68.15	0.94	33.07	59.47	16.49	56.07	67.83	2.50	48.42
3	31.31	3.77	24.74	60.50	1.13	32.13	67.91	0.96	33.34	59.22	16.55	55.85	67.89	2.73	49.67
1+2+3 **	31.33	4.31	25.42	60.69	1.18	32.89	68.03	0.98	33.71	59.33	16.73	55.99	67.88	3.18	51.64
4 - 14 ***	28.26	4.60	23.10	61.98	1.02	31.26	72.98	0.74	30.87	58.12	15.18	54.43	73.18	1.56	42.51
15 - 42 ***	25.30	4.53	20.38	59.51	0.92	28.43	65.52	0.67	26.21	59.41	11.16	54.34	73.75	1.33	41.11

* - полосовой фильтр, применявшийся на 2-ом этапе после деконволюции.
** - суммарная сейсмограмма, полученная путем сложения 3-х записей с номерами 1, 2, 3.
*** - интервал профиля, для которого приведено среднее значение оценки.

Таблица 4. Количественные оценки по сейсмограммам для ВИ.

этап обработки	1			2						3					
параметры фильтра*	Нет			10/14-60/70 Гц			10/14-110/120 Гц			10/14-60/70 Гц			10/14-110/120 Гц		
тип оценки	RP	S/N	RPN	RP	S/N	RPN	RP	S/N	RPN	RP	S/N	RPN	RP	S/N	RPN
номер записи	значение оценки														
13 52 ***	38.39	1.05	19.57	60.31	0.73	25.36	82.38	0.53	28.34	57.30	11.09	52.31	82.44	0.99	40.65

ческих материалов с просмотром каждой отдельной записи.

Средние значения оценок для ЭИИ, рассчитанные для всего набора сейсмограмм с одинаковыми параметрами возбуждения, сопоставимы с соответствующими параметрами для материала от ВИ. На основании анализа всех данных для условий рассматриваемого участка в качестве оптимальных можно рекомендовать общее число воздействий на уровне 18-20.

Обработка полевого материала выполнялась в двух вариантах: с типичными параметрами, оптимизированными для данных сейсмогеологических условий, и стандартной методики полевых работ с ВИ и со специально подобранными параметрами, с учетом другого типа источника. Такой подход был необходим для более корректного сопоставления количественных оценок.

Так, например, для ЭИИ применялась более "жесткая" деконволюция, которая позволила повысить уровень высокочастотных компонент спектра (от 50 Гц и выше) и, тем самым, существенно повысить разрешающую способность сигнала. Изначально значения амплитуд спектра в указанном диапазоне были на 1-2 порядка ниже, чем на более низких частотах. На первичном же полевом материале от виброисточника уровень низких частот (до 50 Гц) превышал уровень высоких всего лишь в несколько раз. По результатам тестирования для ЭИИ была выбрана боле узкая, чем для ВИ, полоса фильтрации - 14-60 Гц. Значение верхней граничной частоты полосового фильтра было снижено в целях ослабления нерегулярного шума, появившегося на записи после применения деконволюции с достаточно высоким уровнем "отбеливания".

На рис. 1 представлены сейсмограммы а также соответствующие графики АЧХ и количественные оценки. В данном случае использовалась полосовая фильтрация со стандартными параметрами (10/14-110/120 Гц).

Как видно, на записях от ЭИИ на 1-ом этапе (после АРУ) (рис. 1, А) присутствуют чрезвычайно интенсивные регулярные среднескоростные помехи (V= 1700-2500 м/с) с частотами до 15 Гц, а также низкочастотные "звуковые" помехи. Количественные оценки в данном случае в значительной мере реагируют на указанные волны-помехи и поэтому неинформативны. На сейсмограммах от ВИ уровень среднескоростных помех значительно ниже и годографы полезных отражений просматриваются более четко.

На 2-ом этапе (рис. 1, Б) амплитудный спектр в обоих случаях существенно расширяется. Амплитуды высокочастотных компонент (от 50 до 120 Гц) и, соответственно, значение параметра RP для ВИ заметно выше, чем для ЭИИ. Однако, как видно на сейсмограммах, это связано, в основном, с более высоким уровнем случайного шума. По этой причине по соотношению S/N запись от ВИ уступает записи от ЭИИ. Значения RPN примерно одинаковы в обоих случаях.

На 3-ем этапе (рис. 1В), после вычитания среднескоростных волн-помех, уровень амплитуд спектра в полосе подавления FK-фильтрации (0-60 Гц) заметно уменьшается, т.к. из записи удаляются когерентные помехи на соответствующих частотах. Порядок изменений соотношения амплитуд между низкими и высокими частотами на АЧХ, вызванных применением процедуры вычитания помех, примерно одинаков для сравниваемых источников. Соотношение S/N в обоих случаях заметно улучшается, причем для ЭИИ оно возрастает примерно в 3 раза, а для ВИ - вдвое. Последнее обстоятельство связано, опять же, с исчезновением субрегулярных помех, уровень которых на сейсмограммах от ЭИИ, как уже сказано, гораздо выше. Параметр RP практически не изменяется, значение RPN увеличивается приблизительно на 50% для ЭИИ и на 40% для ВИ.

На основании проведенного анализа характера изменений волновой картины на тестовых сейсмограммах, а также АЧХ, и количественных характеристик можно сделать следующие выводы.

На сейсмограммах от ВИ уровень полезного сигнала в высокочастотной области спектра (от 90 Гц и выше) несколько меньше, чем на низких частотах. Несмотря на широкий частотный диапазон зарегистрированного сигнала (15-120 Гц - в соответствии с параметрами опорного сигнала), что отчетливо видно на АЧХ, указанная область

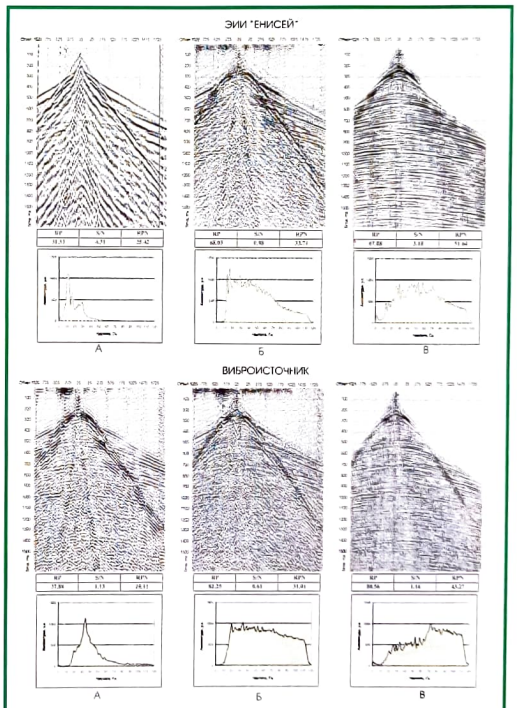


Рис. 1. Сейсмограммы, полученные разными источниками колебаний их АЧХ и количественные характеристики на разных стадиях обработки.

*А - после применения процедур **АРУ**;*

*Б - после применения процедур **АРУ**, деконволюции, полосовой фильтрации 10/14-110/120 Гц;*

В - после применения процедур АРУ, деконволюции,полосовой фильтрации 10/14-110/120 Гц и вычитания среднескоростных волн-помех.

Рис. 2. Фрагменты временных разрезов полученных по ПМ от различных типов источников. Полосовая фильтрация по ПМ 10/14-110/120 Гц. А - электромагнитный импульсный источник "Енисей СЭМ-100"; Б - виброисточник СВ-27/150-362.

(90-120 Гц) содержит в основном корреляционные шумы. Это обстоятельство, по-видимому, связано как с конкретными условиями возбуждения на данном профиле (возможно, на данной площади), которые не позволяют получить на таких частотах вибрационный сигнал с допустимым уровнем фазовых искажений, так и со значительным поглощением высокочастотных компонент в геологической среде (особенно в ВЧР). Тем не менее, полосовой фильтр, применяемый к ПМ в процессе стандартной обработки, в данном случае настроен на пропускание полного (до 120 Гц) диапазона частот. Такой подход используется для успешного решения геологической задачи на отдельных участках профилей (особенно в районе объектов поиска), т.к. необходимо максимально сохранить разрешающую способность сигнала, допустив некоторое снижение соотношения S/N. Это особенно важно для детального изучения тонкослоистой внутренней структуры объекта. В случае же необходимости, к временному разрезу всегда может быть применен фильтр с более узкой полосой пропускания.

Интенсивные низкочастотные регулярные помехи, присутствующие на первичном ПМ полученным с помощью ЭИИ, в итоге полностью устраняются. Частотный диапазон полезного сигнала в случае ЭИИ ограничен сверху более низкими по сравнению с ВИ значениями - 60-70 Гц. После применения фильтров как с широкой (до 120 Гц), так и с узкой (до 70 Гц) полосами пропускания, параметр S/N для ЭИИ на окончательной стадии обработки ПМ превосходит аналогичный показатель для ВИ в 1,5-2,5 раза. Разрешающая способность полезной записи, согласно численным оценкам и судя по виду материала на сейсмограммах, несколько выше для ВИ. Однако, после получения суммарных разрезов, эти различия в значительной степени нивелируются. С точки зрения подавления некогерентного шума полосовой фильтр 14-70 Гц для ЭИИ представляется предпочтительным. Визуальная оценка сейсмического материала на сейсмограммах от ЭИИ позволяет говорить о его высоком качестве.

На рис. 2 приведены фрагменты временных разрезов ОГТ, полученных по окончательному ПМ (после FK-фильтрации) для сравниваемых источников, обработанных с фильтрацией 10/14-110/120 Гц. Сопоставление волновых картин для двух типов источников на временных разрезах свидетельствует о небольшом преимуществе (с точки зрения разрешающей способности записи и прослеживаемости границ) вибрационного сигнала над импульсным в случае широкополосной фильтрации. При фильтрации с полосой 14 - 70 Гц качество материала на сопоставляемых фрагментах временных разрезов с позиций прослеживаемости целевых горизонтов, амплитудных и фазовых характеристик практически идентично.

Необходимо иметь ввиду, что при изменениях свойств ВЧР, поверхностных условий, а также в силу технических причин, высокочастотная составляющая сигнала в ряде случаев может стать более информативной. Последнее в равной мере относится как к вибрационному, так и к импульсному источнику. С учетом этого, а также в зависимости от поставленных геологических задач (когда важны либо высокая разрешающая способность записи, либо надежная прослеживаемость границ, либо сохранение динамических характеристик волнового поля и т.д.), параметры деконволюции и фильтрации всегда могут быть оптимизированы и заданы соответствующим образом на том или ином этапе обработки.

Таким образом, проведенный анализ и сравнительная оценка полученных материалов, позволяет говорить о возможности эффективного использования импульсных источников типа "Енисей" при проведении сейсморазведочных работ в условиях Сосновогорского участка и аналогичных им. Необходимо отметить, что с точки зрения сейсмогеологических условий рассматриваемый район характеризуется весьма простым строением. Так называемая "первая жесткая граница" имеет форму моноклинали, не осложнена участками размывов, поэтому и не вносит больших искажений в регистрируемое волновое поле, не вызывает и рассеяния сейсмической энергии. Исследуемый интервал разреза располагается на относительно небольшой глубине (до 1500-1700 м), целевые границы достаточно выдержаны по латерали. Рельеф местности, поверхностные условия и строение ЗМС также не создают особых проблем. Впрочем, относительно свойств ЗМС и поверхностных условий, ввиду их возможных значительных изменений, выводы можно делать только для данного конкретного периода полевых работ (возможно, даже погодных условий). Сочетание всех вышеуказанных факторов создает благоприятные предпосылки для эффективного применения на рассматриваемой территории импульсного источника с относительно невысокими энергетическими характеристиками, каким является ЭИИ "Енисей". Таким образом, существует возможность успешного решения геологических задач с применением ЭИИ указанного типа при проведении сейсморазведочных работ МОГТ-2D на данном участке.

Разумеется, сделанные выводы нельзя использовать при решении вопроса о применении таких ЭИИ в районах с другими глубинными или поверхностными сейсмогеологическими условиями. В таких случаях, безусловно, потребуется проведение соответствующих опытных работ и, возможно, изменение методики полевых наблюдений.

В дальнейшем представляется небезынтересным опробование ЭИИ на других площадях в качестве альтернативы вибрационным источникам, обладающим, как известно, целым рядом недостатков. Возможно, весьма эффективным окажется применение ЭИИ при изучении ВЧР методом преломленных волн, поскольку здесь особенно важны четкие первые вступления головных волн, которые, в большинстве случаев, обеспечивают только импульсные источники.

Важнейшим преимуществом источника «Енисей ВЭМ-100» перед эталонными водными источниками является возможность его эффективного использования в переходных зонах...

Смирнов Валерий Петрович

Первые результаты опробования импульсного водного источника "Енисей ВЭМ-100" в бассейне и на акваториях Красноярского водохранилища и р. Иртыш

Смирнов В.П., "Геотехноцентр" филиал ОАО "Енисейгеофизика", г. Минусинск

Конструкция лодок катамарана "Енисей ВЭМ-100" подобна санному полозу источника "Енисей СЭМ-100": днище лодки является опорной плитой электромеханического преобразователя, излучателем упругих колебаний непосредственно в грунт (при касании днищем дна водоема) или в грунт через слой воды (в плавающем состоянии).

Для обеспечения плавучести лодок катамарана ВЭМ-100 вес пригрузов в электродвигателях был уменьшен в два раза относительно применяемых в СЭМ-100.

Размеры лодок (450 см × 100 см × 110 см) и катамарана в целом (450 см × 320 см × 110 см) обеспечивают перевозку источника ВЭМ-100 в полуприцепе автомобилями КАМАЗ, УРАЛ.

Испытания макетов (№1; № 2-4) источников "Енисей ВЭМ-100" проводились в самых различных условиях:

а) на производственной базе "Геотехноцентра" филиала ОАО "Енисейгеофизика" в бассейне размерами 1077 см × 483 см × 245 см (245 см - глубина в бассейне при заполнении водой) с замерами ускорений на элементах конструкции источников; с оценкой сейсмической эффективности по скважинным сейсмоприемникам на глубинах 20, 50 метров - в марте - октябре месяцах 2003 г; в июне 2004 г - сравнительные испытания с применением пневмопушки с объемом 2,5 $дм^3$ при возбуждении колебаний в бассейне и в скважине (13 м);

б) в протоке р. Енисей шириной 120 м и глубиной до 2-х метров, вблизи Быстрянской антиклинали Южно-Минусинской впадины (дер. Быстрая) с расстановкой (1400 м) сейсмоприемников в пойме р. Енисея с расстоянием между каналами 20 м (71 канал) - 20.03.03 г. - 10.04.03 г;

в) на акватории Красноярского водохранилища в районе бывшей Бузоновской протоки р. Енисей (координаты: X=5998,6 - 5993,4; Y=16407,8 - 16409,4) на глубинах от 0,7 - 0,8 м до 20 - 24 м, при удалениях источника от берега до 100 - 200 м; установка приемной линии на суше. Ширина водохранилища в месте испытаний достигает 3 - 4 км, глубина - 40 м - 26.05.04 г - 12.06.04 г;

г) на акватории р. Иртыш, вблизи г. Ханты-Мансийска при установке приемной линии на суше, в воде (вдоль и поперек фарватера) - 10.09.04 г - 10.10.04 г.

Соответственно применялись измерительные средства и регистрирующая аппаратура, эталонные источники упругих колебаний:

а) цифровые осциллографы Tektronix, токоизмерительные шунты 75 ШСМ3ООА, акселерометры, скважинные сейсмоприемники, импульсные источники "Енисей СЭМ, КЭМ";

б) сейсмостанция "Сердель SN-388" с рабочей расстановкой на 71 канал (ΔX=20м), система синхронизации и управления источниками - SGS; импульсные источники "Енисей КЭМ-4", донный источник - макет;

в) сейсмостанция INPUT / OUTPUT - TWO с наземной 194-канальной расстановкой сейсмоприемников GS-20DX (12 приборов в точке на пикете приема) с шагом 10 м;

г) пневматические излучатели типа "Пульс-6" с тремя вариантами группирования:

-четыре пневмопушки объемом 3,5 $дм^3$ + 2,5 $дм^3$ + 3,5 $дм^3$ + 2,5 $дм^3$ = 12 $дм^3$;

-две пневмопушки объемом 3,5 $дм^3$+2,5$дм^3$= 6$дм^3$;

-один излучатель объемом 2,5 $дм^3$, глубина погружения излучателей - пневмопушек порядка 3,5 м - 4 м при глубинах до дна водохранилища в диапазоне 4 - 20 м, рабочее давление в камерах пневмопушек 130-140 атм;

д) наземный источник сейсмических колебаний "Енисей КЭМ-4" с 4 излучателями на шасси "УРАЛ 4320" со стандартными значениями напряжения на конденсаторной батарее и обмотках электромагнита - 850 В, зазор между якорем и индуктором электромагнита - 5 мм.

Для определения координат пунктов возбуждения (ПВ) пневмопушек и рельефа дна по линиям ПВ применялись: геофизическое оборудование "Garmin - 12 XL" с точностью привязки ПВ не хуже ±5 м, эхолот "Кристалл" с диапазоном измерений 0,6 - 40 м.

Управление и синхронизация источников и сейсмостанции осуществлялась через систему SGS и блок "Астра" (для пневмопушек).

Выполнялись следующие полевые эксперименты:

а) сопоставление телеметрических систем X-Zone Marsh Line и SN-388 и импульсных источников "Енисей СЭМ-100" и "Енисей ВЭМ" при установке приемных линий на суше;

б) сопоставление телеметрических систем SN-388 и X-Zone Marsh Line при установке приемных линий соответственно на суше и в воде с регистрацией информации при возбуждении колебаний одним источником "Енисей ВЭМ";

в) прием колебаний на расстановки геофонов и гидрофонов системы Marsh Line, установленных по

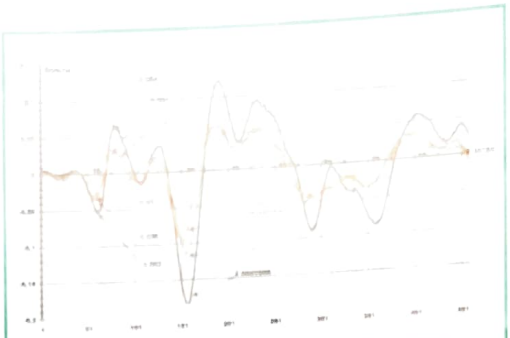


Рис. 1. ВЭМ-100к. Диаграмма уровней сигнала сейсмозонда (СВ-5) в скважине на глубине 50 м и расстоянии от устья до бассейна 60 м. Зазор 4,5 мм. С=10000 мкФ. U=850 В. Снято 8.04.04 г.

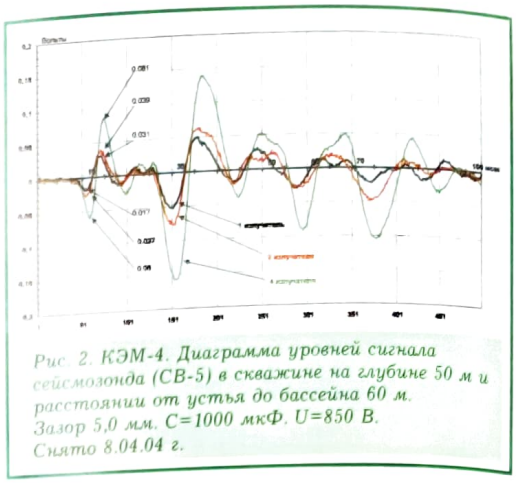


Рис. 2. КЭМ-4. Диаграмма уровней сигнала сейсмозонда (СВ-5) в скважине на глубине 50 м и расстоянии от устья до бассейна 60 м. Зазор 5,0 мм. С=1000 мкФ. U=850 В. Снято 8.04.04 г.

фарватеру р. Иртыш

г) возбуждение упругих колебаний с применением двух источников "Енисей ВЭМ" при укладке приемных линий гидрофонов и геофонов системы Marsh Line поперек фарватера р. Иртыш с размещением части каналов в карьере со стоячей водой.

д) работы МОГТ по фарватеру р. Иртыш с использованием телеметрической системы X Zone Marsh Line и водных источников "Енисей ВЭМ".

В производстве работ с водными источниками "Енисей ВЭМ-100" (далее ВЭМ-100), кроме персонала "Геотехноцентра" филиала ОАО "Енисейгеофизика", принимали участие специалисты:

- Геофизической службы СО РАН;
- ООО "Пульс" (г. Геленджик);
- Богучанской ГЭ;
- Югорской геофизической экспедиции ОАО "Ханты-мансийскгеофизика";
- Фирмы "Си Технолоджи" (г. Геленджик).

Сопоставление измеренных параметров (ускорений на пригрузе и якоре, днище лодки - опорной плите и т. пр.) источника "Енисей ВЭМ" при испытаниях в бассейне относительно параметров наземных источников "Енисей СЭМ-100, КЭМ-4" показало их подобие, что и ожидалось при проектировании макета ВЭМ-100. Уменьшение веса пригруза в два раза для обеспечения плавучести при заданных размерах лодок компенсировалось возрастанием ускорения на пригрузе почти в 1,5 раза и повышенным градиентом ускорения в

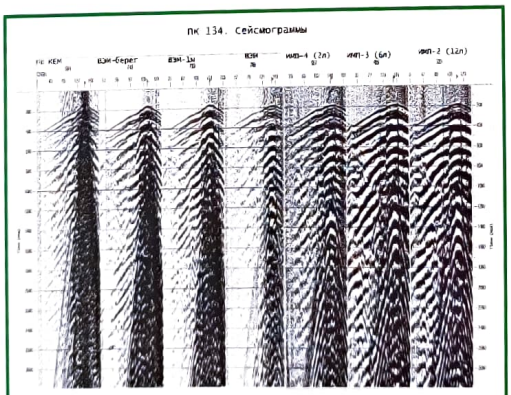


Рис. 3. Сопоставление сейсмозаписей при возбуждение упругих колебаний электромагнитными и пневматическими источниками различных конфигураций в окрестностях ПВ 134. Примечание: уровень микросейсм с применением пневмопушек (ИВП-2,ИВП-3 и ИВП-4) обусловлен: работой двигателей судна,компрессора; волнами в прибрежной зоне,вдоль которой лежат геофоны расстановки.

разгонной части (до 4 мс) интервала движения пригруза.

По сейсмической эффективности, по показаниям скважинных сейсмоприемников на глубинах 20, 50 м, водный электромагнитный излучатель ВЭМ-100 близок наземным источникам СЭМ-100, КЭМ-4, соотношений амплитуд одноименных экстремумов сейсмической записи составляет около 0,8.

На рис. 1-2 приведены сейсмические записи от источников ВЭМ-100 и КЭМ-4 при положении сейсмоприемника на глубине 50 м и расстоянии (по горизонтали) от ПВ равном 60 м. Так как коренные отложения с пластовой скоростью 4000 м/с перекрываются рыхлыми отложениями с пластовой скоростью около 800 м/с мощностью 3-4м, первой на сейсмической записи прослеживается проходящая волна, связанная с преломленной, распространяющейся по кровле коренных отложений ($T \approx 12$-13 мс, амплитуда - 0,064 В), далее - прямая волна ($T \approx 15$-16 мс, амплитуда - 0,143 В). Некоторые отклонения во временах вступлений, в амплитудах экстремумов сейсмической записи ВЭМ-100 относительно записи от КЭМ-4 могут быть связаны с различием условий возбуждения:

-излучатели ВЭМ-100 с объемом воды находятся в железобетонной коробке бассейна;

-излучатели КЭМ-4 на поверхности грунта, в непосредственной близости от коробки бассейна.

Амплитуда экстремумов сейсмической записи скважинными сейсмоприемниками от пневмопушки "Пульс-6" с объемом 2,5 дм^3, действующей в бассейне, в два раза превышает амплитуды аналогичных экстремумов от действия КЭМ-4, установленного в непосредственной близости у стенки бассейна. Фактическое соотношение энергетических характеристик пневматического и электромагнитного источников может быть еще больше. Энергия импульса возбуждения пневмоизлучателя достаточна для встряхивания бассейна с объемом воды около 125 м^3 и общим весом не менее 200 тонн.

Воздействие данной пневмопушки в скважине глубиной 13 м, в плотных песчаниках, с водной укупоркой имеет низкую сейсмическую эффективность, в четыре раза меньше, чем при одиночном воздействие источника КЭМ-4.

Возбуждение колебаний ВЭМ-100 в протоке р. Енисей производилось при положении ПВ на расстояниях 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 м от берега. Глубина протоки составляла соответственно 70, 94, 144, 154, 164, 174 см. Для сравнения отметим: глубина бассейна составляет 245 см, при глубине протоки 70 см опорные полозья днища излучателя касались дна.

При касании днища излучателя грунта и при толщине водного слоя между дном протоки и днищем излучателя в 1 м произведены замеры ускорений на пригрузе и днище излучателя, замеры на расстановку сейсмоприемников при переборе

напряжений на конденсаторной батарее и обмотках электромагнита от 200 до 800 В.

Для сопоставления структуры и интенсивности волнового поля зарегистрированы серии одиночных воздействий и накоплений от "Енисей КЭМ-4" (с 2-мя и 4-мя излучателями) и от макета донного источника. Погружной донный излучатель изготовлен по конструкции излучателя "Енисей КЭМ-2", размещенного в водонепроницаемом корпусе и питаемого от силового блока КЭМ-2.

В наблюдаемой структуре волнового поля для 100-метровой расстановки с удаления 140 м от ПВ по устойчивости прослеживания и динамической выразительности в первых вступлениях доминирует преломленная волна с кажущейся скоростью 6000 - 6200 м/с.

Полученные материалы показали строгое подобие структур волновых полей для всех 3-х типов излучателей ("Енисей ВЭМ" - водного, "Енисей КЭМ-4" - наземного в вариантах с 2-мя и 4-мя излучателями, макета донного источника), возможность совместного применения источников "Енисей ВЭМ" и "Енисей КЭМ" на объектах исследований, расположенных в пределах суши и водоемов, с получением однородных по качеству сейсмических материалов.

Размещение силовых блоков "Енисей ВЭМ" в корпусах лодок катамарана обеспечивает возможность автономного применения излучателя-лодки на водоемах изобилующих отмелями, узкими протоками, быстрыми течениями.

При испытаниях водного источника (макет 2 экз.№ 1-2) на акватории Красноярского водохранилища получены сравнительные материалы для оценки сейсмической эффективности ВЭМ-100 относительно пневмопушек в ряде точек с расчлененным рельефом дна, в условиях различного уровня помех (микросейсмы от волнения на береговой линии) при использовании различного числа накоплений (от 1 до 32). Для оценки влияния на сейсмическую эффективность ВЭМ-100 положения излучателя (днища) относительно дна водоема данные в этих точках получены на глубинах 70 - 80 см (днище касается дна), 170 - 180 см (толщина водного слоя между днищем и дном водоема - 1 м), 4 - 20 м (в точках, где колебания возбуждались пневмопушками).

Для сравнительной оценки эффективности различных источников при изучении отражающих границ были получены и затем обработаны в системе ProMax до получения временных разрезов данные 7 профилей (рис.1,2):

- ИМП-2 - группа 4-х пневмопушек (12 л);
- ИМП-3 - группа 2-х пневмопушек (6 л);
- ИМП-4 - одна пневмопушка (2,5 л);
- ВЭМ - один источник ВЭМ-100 с накоплением Σ8 при глубинах водоема 4 - 20 м;
- ВЭМ-1м - то же при глубинах 170 - 180 см (толщина водного слоя между днищем и дном водоема - 1м);
- ВЭМ-берег - то же при глубинах 70 - 80 см (днище касается дна);
- КЭМ - один источник КЭМ-4 с накоплением Σ8, ПВ расположены на линии ПП.

Сравнение сейсмограмм ОПВ, полученных от различных источников (рис. 3-5), свидетельствует о том, что:

♦ одиночный пневмоизлучатель на глубинах от 4 до 20 м возбуждает колебания на 12-18 дб мощнее, чем одиночный источник "Енисей ЭВМ-100" с накоплением Σ8 воздействий (по интенсивности первых вступлений и пульсациям волн-помех);

♦ структура сейсмозаписи преломленных и отраженных волн в зоне первых вступлений и последующей записи при возбуждении колебаний "Енисей ЭВМ-100" выглядит более разрешенной относительно данных от пневмоизлучателей, благодаря несколько повышенной доле высокочастотных компонент спектра возбуждаемого импульса;

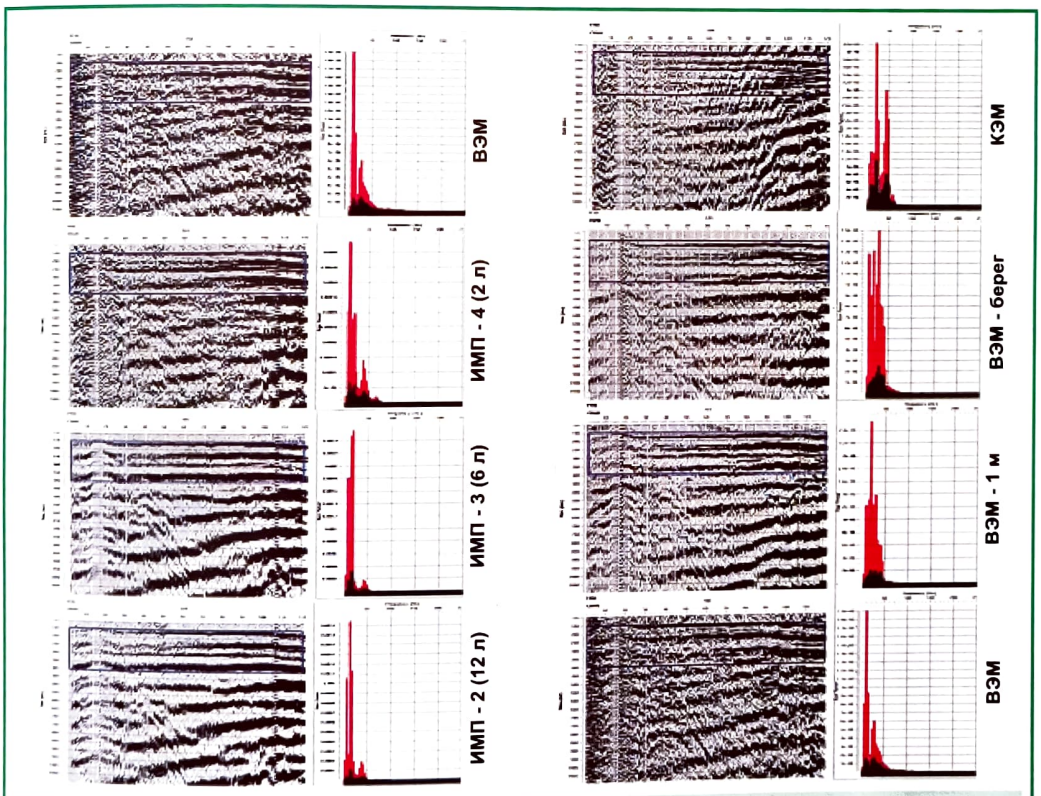


Рис. 4. Амплитудно-частотные характеристики сейсмозаписей в зоне первых вступлений и отражений от границ ВЧР при различных параметрах электромагнитных и пневматических источников.

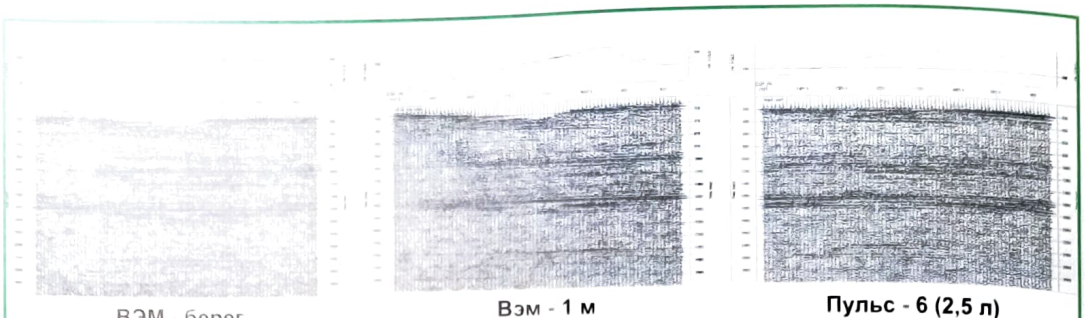


Рис. 5. Качество временных разрезов МОГТ с применением электромагнитного источника «ВЭМ-100» и пневматического источника «Пульс-6» (2,5 литра) в условиях Южно-Минусинской впадины.

♦ уровни нерегулярного шума по отношению к общей энергии регистрируемых на сейсмограмме колебаний (рис. 4-5) сопоставимы для разных источников.

Обработка данных по профилям выполнялась с одинаковыми для разных источников методикой и параметрами обработки:

• описание системы наблюдений с использованием технологии Croked Line;

• выравнивание спектра сейсмозаписей (в полосе частот 8-16-60-90 Гц), регулировка амплитуд, получение предварительного временного разреза ОГТ с нулевой априорной статикой;

• скоростной анализ и коррекция кинематических поправок;

• автокоррекция статических поправок в широком (1200 мс) временном окне;

• коррекция поканальных статпоправок (индивидуальное задание горизонтов для коррекции по каждому профилю).

Сопоставление временных разрезов проводилось на участке профиля, ограниченном координатами $X_{оп} = 5995,852 \div 5995,103$.

Различия в качестве временных разрезов видимо связаны, главным образом, с заметным несовпадением планового положения треков линий суммирования (от 20 до почти 200 м - рис.2а) и невозможностью учета особенностей рельефа дна водоема в каждом случае (по организационным и техническим причинам), а также с неравномерностью размещения пунктов возбуждения по профилям и существенными изменениями кратности.

Тем не менее, практически на всех профилях отмечаются основные отражающие горизонты (или по крайней мере их фрагменты) во временном интервале 600-1200 мс. Стоит отметить повышение качества прослеживания отражений при положении ПВ (рис.5) на мелководье (ВЭМ-берег и ВЭМ-1м), связанное, по-видимому, с ослаблением влияния недоучета формы рельефа дна водоема.

Проведенные сравнительные испытания водного источника позволили сделать обоснованные выводы:

1. Источник сейсмических колебаний - "Енисей ВЭМ-100" позволяет, в принципе, получать результаты, сопоставимые с эталонными пневматическими источниками.

2. Важнейшим преимуществом источника "Енисей ВЭМ-100" перед эталонными водными источниками является возможность его эффективного использования в переходных зонах, недоступных для пневмопушек, - мелководье (при глубинах водоема от 3-4 до 0,7 м) вплоть до последующего выхода на сушу и продолжения профиля в сухопутном варианте.

3. Водный электромагнитный источник сейсмических колебаний "Енисей ВЭМ-100" рекомендуется к внедрению в практику сейсморазведочных работ.

4. Для внедрения в производство источника "Енисей ВЭМ-100" последний должен быть укомплектован навигационной аппаратурой GPS и эхолотом, которые будут синхронизированы с сейсмостанцией через системы синхронизации (ССВ-2 или SGS), а также снабжен малошумящими источниками питания (аккумуляторами) и средствами транспортировки.

5. Для повышения энергетических характеристик возбуждаемых сейсмических колебаний желательно применять группирование нескольких источников "Енисей ВЭМ-100" и, возможно, повышенную кратность накопления воздействий. Технологически использование указанных приемов легко реализуется с испытываемым источником, как "на точке", так и "в движении".

При сопоставления на суше телеметрических систем X-Zone Marsh Line и SN-388 с применением импульсных источников СЭМ-100 и ВЭМ-100 установлено следующее:

- общая энергия сейсмической записи, регистрируемой от водных импульсных источников ВЭМ-100, сопоставима с энергией записи, полученной от использования импульсных источников СЭМ-100 (рис.6);

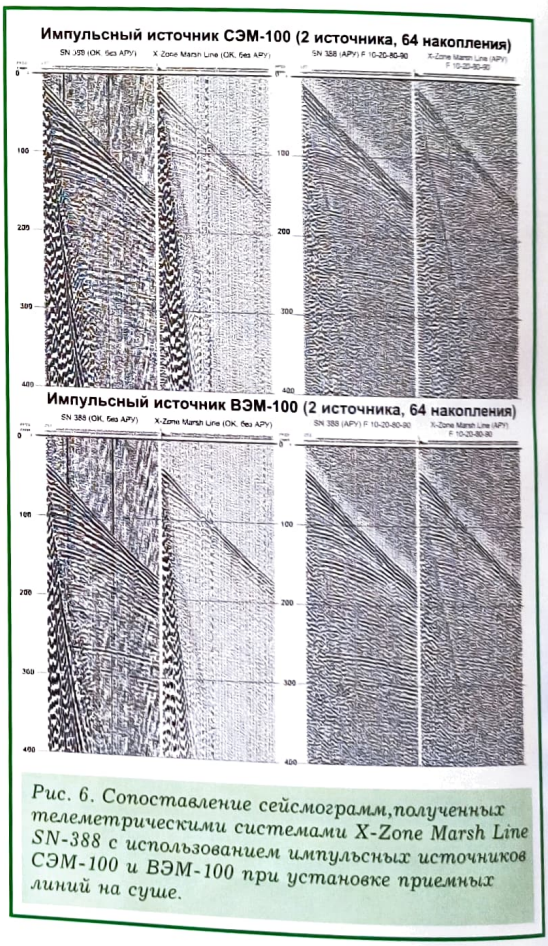


Рис. 6. Сопоставление сейсмограмм,полученных телеметрическими системами X-Zone Marsh Line SN-388 с использованием импульсных источников СЭМ-100 и ВЭМ-100 при установке приемных линий на суше.

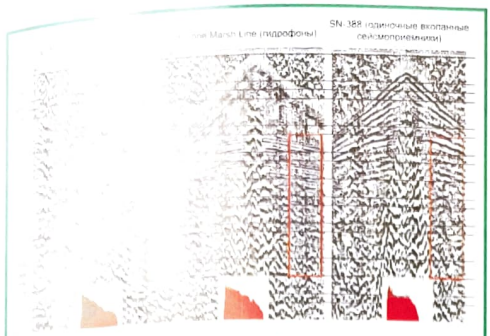


Рис. 7. Сравнение качества сейсмограмм, полученных методом параллельной регистрации информации системами SN-388 (берег р. Иртыш) и X-Zone Marsh Line (фарватер р. Иртыш), с использованием водных импульсных источников ВЭМ-100. Количество источников ВЭМ-100 - 2 штуки, количество накоплений - 32, средний уровень шумов на приемной линии SN-388 - 30 мкВ, средний уровень шумов на приемной линии Marsh Line: гидрофоны - 100 мкВ, геофоны - 1000 мкВ.

- спектр частот сейсмической записи, регистрируемой от водных импульсных источников ВЭМ-100, более обогащен высокочастотной составляющей в сравнении с записью, полученной от импульсных источников СЭМ-100.

При установке приемной линии Marsh Line по фарватеру р. Иртыш примерно в 50 м от кромки берега, а расстановки геофонов SN-388 на берегу возбуждение колебаний на 22 ПВ с шагом 100 м осуществлялось двумя источниками ВЭМ-100, пришвартованными к катеру.

По всем 22 отработанным точкам наилучшее качество информации в части прослеживаемости и разрешенности записи отраженных волн получено при регистрации сейсмической записи гидрофонами системы Marsh Line, несмотря на то, что средний уровень шумов на приемной линии SN-388 составлял около 30 микровольт, на приемной линии Marsh Line по геофонам 100 микровольт (рис.7, 9).

На профиле возбуждения (р. Иртыш) имеются участки, влияющие на изменение условий возбуждения упругих волн. При проведении возбуждений на таких участках, регистрируемая гидрофонами системы Marsh Line запись становится существенно более высокочастотной, но интенсивность ее снижается.

При возбуждении колебаний в относительно благополучных условиях, даже при наличии на гидрофонах интенсивных шумов (100 микровольт), полезную информацию удается зарегистрировать при малом количестве накоплений (рис.8).

При возбуждении упругих колебаний двумя ВЭМ-100 на расстановке линии Marsh Line поперек

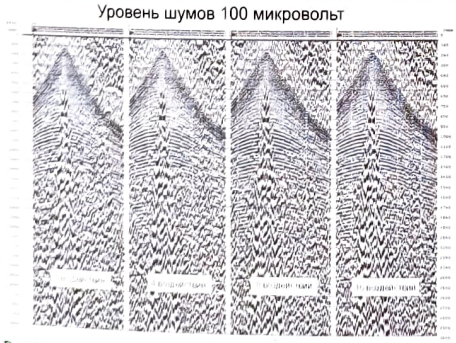


Рис. 8. Сравнение качества сейсмограмм, зарегистрированных системами X-Zone Marsh Line (гидрофоны), в зависимости от количества воздействий при расположении водного импульсного источника ВЭМ-100 в благоприятных условиях.

фарватера р. Иртыш с размещением части каналов в карьере со стоячей водой установлено, что уровень шумов на гидрофонах, расположенных в области фарватера, составляет, в среднем, 100 микровольт, что сопоставимо с шумами при расположении косы Marsh Line вдоль направления течения.

Уровень шумов на гидрофонах, расположенных в зоне стоячей воды, не превышал 5 микровольт.

В условиях низкого уровня помех (зона стоячей воды) гидрофоны системы Marsh Line уверенно регистрируют полезную сейсмическую запись уже при одном воздействии двух источников ВЭМ-100.

Качество сейсмической записи, регистрируемой геофонами системы Marsh Line, существенно уступает гидрофонам в части прослеживаемости и разрешенности пакетов отраженных волн.

Проведение работ МОГТ по фарватеру р. Иртыш с использованием водных источников ВЭМ-100 и телеметрической системы X - Zone Marsh Line в режиме волочения приемной расстановки по дну реки теплоходом (лебедкой) было приостановлено, так как сейсмическая коса стала не выдерживать динамические нагрузки.

Опробование импульсного водного источника упругих колебаний "Енисей ВЭМ-100" в сравнении с эталонными источниками в различных сейсмогеологических и орогидрографических условиях показало возможность его применения на предельном мелководье (0,7 - 2,0 м для макетов №1 и №2, 0,15 - 2,0 м для разрабатываемого макета № 3) транзитных зон при постановке сейсморазведочных работ 2D, 3D по стандартным методикам.

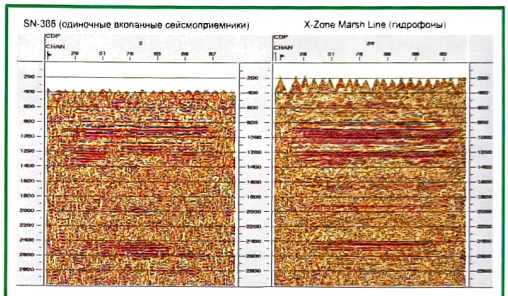


Рис. 9. Сравнение предварительных (фильтрация (6,12,90,120)+суммирование) временных разрезов по материалам, полученным путем параллельной регистрации информации SN-388 (берег р. Иртыш) и X-Zone Marsh Line (фарватер р. Иртыш), с использованием водных импульсных источников ВЭМ-100.
Количество источников ВЭМ-100 - 2 штуки, количество накоплений - 32, средний уровень шумов на приемной линии SN-388 - 30 мкВ., средний уровень шумов на приемной линии Marsh Line -100 мкВ.

Наблюдения официально назначенного ихтиолога за процессом возбуждения упругих колебаний пневмопушками и ВЭМ-100 на акватории Красноярского водохранилища показали практически полное отсутствие последствий воздействий ВЭМ-100 на флору и фауну водоема. Напротив, при выходе пневмопушки с объемом 2,5 л на глубину 3,5м выброс воздушного пузыря сопровождается разрушением придонных осадков, водорослей. На меньших глубинах водоема это обстоятельство вызовет катастрофические последствия для зон нерестилищ.

Таким образом, применение источника ВЭМ-100 снимет ряд ограничений на производство сейсморазведочных работ в транзитных зонах со стороны природоохранных органов, промысловых хозяйств (рыбоводческих и др.), позволит исключить ряд методических проблем, например: резкие вариации условий возбуждения при переходе с суши на водоемы, в зонах резких перепадов глубин водоема и т. п.

Аппаратура контроля за работой импульсных источников возбуждения "АКР-ИВ"

Соколов В.Г., ОАО "Саратовнефтегеофизика";
Беляев В.Л., Пимштейн И.Г., ООО "Специальные Геофизические Системы", г. Саратов

В последние годы для проведения сейсморазведочных работ в ОАО "Саратовнефтегеофизика" использовались виброисточники производства фирмы "INPUT-OUTPUT" и ЗАО "ГЕОСВИП". Все отряды виброисточников оснащены системами управления "ADVANCE 2" фирмы "PeHon". Как известно, электроника "PeHon" имеет развитую систему диагностирования виброисточников с возможностью постоянного слежения за качеством их работы и записи результатов для хранения на диск компьютера.

В 2003 г. ОАО "Саратовнефтегеофизика" приобрело у ЗАО "Геотехноцентр" отряд из трех источников "Енисей СЭМ-100" для работы в труднодоступных районах, где использование виброисточников было невозможно. В качестве системы синхронизации установили ССВ-2 производства СКБ СП г. Саратов, которая до этого успешно использовалась для работы с взрывными источниками и пневмоисточниками типа "Пульс". Для работы с группой источников СЭМ-100 создатели ССВ-2 написали специальную версию программного обеспечения.

Современные требования к качеству производства сейсморазведочных работ диктуют необходимость контроля всех компонентов используемой аппаратуры и оборудования. К сожалению, в отличие от вибраторов, в систему управления "Енисей СЭМ-100" изготовители не включили никакой возможности контроля работы источников, и первый сезон они использовались практически вслепую. Источники были проверены лишь перед началом полевых работ, причем особенно тщательно на синхронность запуска, проблем с точностью которой обнаружено не было. Отсутствие привычного постоянного контроля за работой источников во-первых, не позволяло персоналу быть уверенным в качестве работы источников в процессе производства дорогостоящих сейсморазведочных работ и во-вторых, не оставляло возможности отчитаться за работу источников в случае каких-либо проблем при обработке материала.

Рис. 2. Комплект аппаратуры контроля работы импульсных источников возбуждения АКР-ИВ.

Родилась идея разработки системы контроля группы источников "Енисей СЭМ-100" (рис. 1), основанной на использовании датчиков ускорения и ССВ-2 как средства оцифровки и передачи их данных в реальном времени через радиоканал на борт сейсмостанции. Для визуализации и регистрации результатов контроля предполагалось использовать персональный компьютер. Такая система, напоминающая систему контроля электроники виброисточников, позволила бы оператору сейсмостанции постоянно следить за параметрами работы источников на экране монитора и сопровождать сейсмический материал данными контроля по каждому возбуждению всех источников. На случай неустойчивой передачи по радио предусматривалась параллельная запись дневного объема данных контроля в память дешифратора ССВ-2 каждого источника, с возможностью считывания их в компьютер в любое удобное время через интерфейс RS-232. Но особое внимание уделялось именно реальному времени работы системы, чтобы можно было можно сразу отследить проблемы в функционировании источников и принять меры к

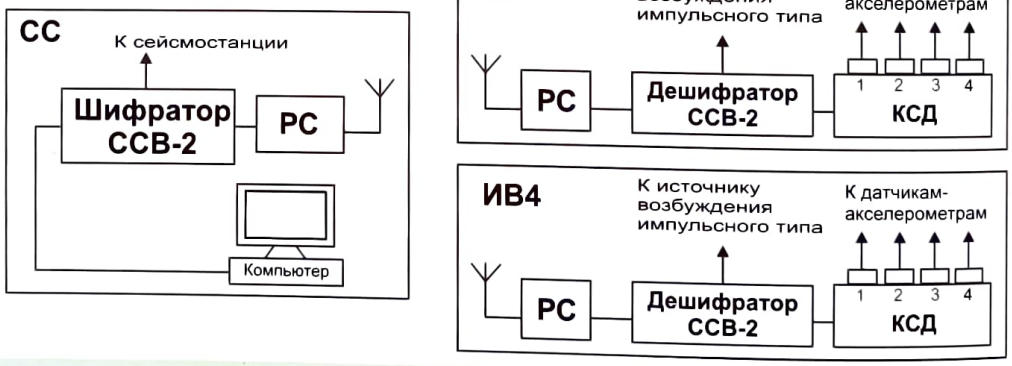


Рис. 1. Система контроля группы источников "Енисей СЭМ-100".

устройств и неисправности.

Общий принцип работы аппаратуры контроля состоит в получении характеристик ускорения-нагруза двигателей, определяющих усилие их действия на грунт, передачи их в цифровой виде на борт сейсмостанции, автоматического определения момента срабатывания источников и построения на экране монитора графиков, позволяющих оператору по виду кривых оценить визуально качество и идентичность воздействий всех источников в группе. Разумеется, весь полученный материал сохраняется на диске компьютера и всегда может быть предоставлен для просмотра.

Оценить работу источника полностью автоматически, сравнивая реальные кривые с какой-то эталонной кривой, практически невозможно, так как они могут значительно отличаться из-за различия в условиях возбуждения (глубокий и рыхлый снег, неровный или наклонный профиль и т.д.). Поэтому одним из критериев нормальной работы источников является идентичность их характеристик, как по времени, так и между собой, которую очень удобно оценивать по наложенным друг на друга графикам в реальном времени после каждого воздействия.

Аппаратура, в крайнем случае, может работать и без компьютера, но тогда ССВ-2 только автоматически контролирует момент воздействия источников.

Датчики устанавливаются на каждом двигателе и можно просмотреть как суммарный сигнал, так и сигнал отдельного двигателя при исследовании или настройке источника.

Были разработаны датчики ускорения на базе микросхем ADXL-190 в ударопрочных корпусах с удобным креплением, коммутаторы сигналов датчиков для подключения к дешифратору ССВ-2, написана специальная версия программного обеспечения для ССВ-2 и комплект программ отображения, регистрации и просмотра записанных данных для персонального компьютера.

Опытный образец АКР-ИВ (рис. 2.) Был изготовлен и опробован в январе-марте 2004 г. Испытания продемонстрировали полезность и удобство системы. Очень хорошо проявила себя передача данных по радио: сбои возникали лишь тогда, когда начинала пропадать и голосовая связь между станцией и источниками.

В конце 2004 г. и в начале 2005 г. были изготовлены и поставлены заказчикам 3 аналогичные системы (ФГУГП "Камчатгеология", ОАО "Енисейгеофизика", ОАО "Волгограднефтегеофизика")

Со дня запуска и по настоящий момент эти системы находятся в постоянной эксплуатации.

По результатам этих работ разработчики наметили перспективы дальнейшего развития системы.

Предполагается перейти на цифровые датчики-акселерометры, ввести контроль тока в катушках индукторов, расширить объем передаваемой на шифратор информации о работе источников возбуждения, включая данные со встроенных в БСУ GPS-приемников.

Ниже приводятся более подробные сведения об аппаратуре АКР-ИВ (Таблица 1).

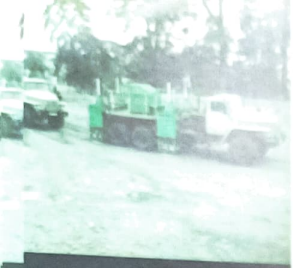
Аппаратура состоит из системы синхронизации "ССВ-2" со специализированной программой работы с невзрывным источником возбуждения, комплекта датчиков акселерометров, комплекта коммутаторов сигналов с датчиков, компьютера с программой отображения и просмотра зарегистрированных данных. Система синхронизации "ССВ-2" включает в себя несколько блоков синхронизирующих универсальных (БСУ), один из которых программируется как шифратор, а остальные - как дешифраторы. Шифратор устанавливается на сейсмостанции и подключается к сейсмостанции, к радиостанции и к компьютеру отображения данных. Дешифраторы устанавливаются на источниках возбуждения. Каждый дешифратор подключается к радиостанции и к коммутатору сигналов с датчиков (КСД). К входам КСД подключаются кабели датчиков акселерометров. Датчики размещаются на каждом индукторе источника возбуждения. На вход дешифратора с помощью КСД может быть подан сигнал с одного выбранного датчика или суммарный сигнал от всех датчиков.

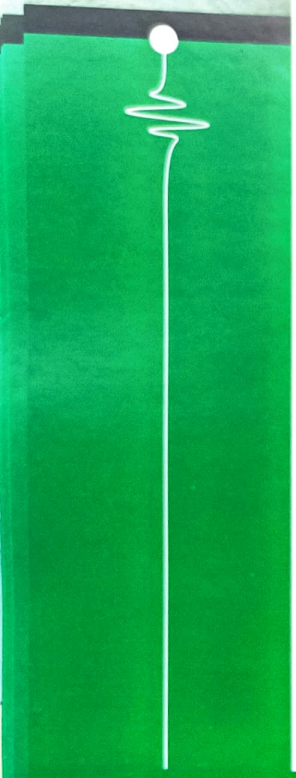
В каждый БСУ системы синхронизации ССВ-2 загружается специализированная программа, обеспечивающая следующий алгоритм работы системы.

Под действием команды «Старт ССВ», поступающей с сейсмостанции на блок шифратора, шифратором формируется и передается на дешифраторы запускающая кодовая посылка, содержащая очередной порядковый номер запуска. Начальный

Таблица 1. Основные характеристики аппаратуры АКР-ИВ.

Система синхронизации возбуждения	
Погрешность синхронизации запуска источников возбуждения и начала регистрации данных, мкс	±100
Максимальное количество запускаемых источников возбуждения	4
Параметры регистрации сигналов с датчиков: длительность регистрации, мс	11
период дискретизации, мс	0,5
разрядность двоичного кода выборки	8
Максимальное количество результатов возбуждений, записываемых в память дешифратора, не менее	9360
Коммутатор сигналов с датчиков	
Максимальное число входных каналов	4
Диапазон входных сигналов канала, В	2,5±2
Нижняя граничная частота частотного диапазона канала, Гц, не более	3
Верхняя граничная частота частотного диапазона канала, Гц, не менее	4000
Весовой коэффициент для каждого канала при суммировании сигналов с датчиков выбирается из ряда	1; 1/2; 1/3; 1/4
Диапазон выходного сигнала, В	±2,5
Фиксированный коэффициент усиления выбирается из ряда	1,25; 1,667; 2,5; 5,0
Погрешность коэффициента усиления, %, не более	0,5
Выбор канала	дистанционный
Напряжение питания, В	9-18
Потребляемый ток, мА, не более	60
Температура окружающей среды, °С	от 40 до +70
Габаритные размеры (длина х ширина х высота), мм, не более	210 x 100 x 60
Масса, кг, не более	0,8
Датчик-акселерометр	
Чувствительность, мВ/g	18±1,5
Динамический диапазон, g, не менее	±105
Нелинейность, %	0,2
Поперечная чувствительность, %	±2
Рабочая полоса частот, Гц, на уровне 3дБ	0 - 400
Напряжение питания, В	5±0,25
Потребляемый ток, мА, не более	2
Габаритные размеры (диаметр х высота с узлом крепления)	34 x 82
Масса, кг	0,6





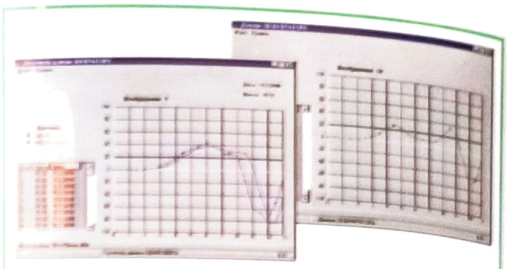


Рис. 3. Окна графического интерфейса АКР-ИВ.

Дешифраторы получают от шифратора запуска команду, которая посылается с интервалом, заданным в редакторе параметров дешифратора. Одновременно с запуском источников возбуждения в дешифраторах осуществляется регистрация сигнала с КСД (суммарного или с одного выбранного датчика) с записью выборок сигнала в память дешифратора. При этом значения каждой зарегистрированной выборки сигнала сравниваются с заданным пороговым уровнем. Момент превышения выборкой сигнала этого уровня считается моментом срабатывания источника возбуждения. Если момент срабатывания источника находится в заданных пределах, дешифратор высвечивает на индикаторном табло признак нормального срабатывания источника возбуждения.

Сигналы с датчиков регистрируются в дешифраторах в течение 11 мс, после чего дешифраторы переходят в режим передачи зарегистрированных данных на шифратор. Выдача данных с дешифраторов на шифратор осуществляется последовательно во времени в соответствии с порядковыми номерами дешифраторов. Порядковый номер дешифратора задается в редакторе параметров дешифратора. Информация, передаваемая из дешифратора в шифратор, содержит подтверждающую отметку момента, значения записанных в памяти дешифратора зарегистрированных выборок, численное значение ОМ, признак нормального или ненормального срабатывания источника возбуждения. Шифратор, получив данные со всех дешифраторов, передает их по RS-232 в компьютер, где осуществляется отображение полученной информации. Зарегистрированные и переданные в шифратор выборки сигналов с датчиков отображаются в графическом виде (рис.3). Сигналы с разных источников возбуждения отображаются разными цветами. Специализированная программа для просмотра зарегистрированных данных обеспечивает возможность считывания и просмотра данных из памяти дешифратора по RS-232 через разъем блока.

Сейс Эл

ВИБРАЦИОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

• Аппаратура
• Сервис
• Исследования

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ И ЗАРУБЕЖНЫЕ БЛОКИ УПРАВЛЕНИЯ ВИБРАЦИОННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ВИБРАТОРОВ

Используется для настройки, контроля качества работы, диагностики технического состояния и ремонта вибраторов. Применима для контроля вибраторов любого типа, оснащенных электроникой любого типа. Может работать под управлением программы VibQC (Pelton Co.,Inc.) и выполнять проверку в рамках функций режимов FM16 и SQC16.

ДАТЧИК ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ МАССЫ (M LVDT)

- предназначен для использования на вибрационных источниках сейсмических сигналов производства НПО "Сейсмотехника" или ЗАО "Геосвип"
- пригоден для работы с системами управления типа БУСВ, БУСВ МП и Advance (Pelton Co.,Inc.) всех модификаций

ИМИТАТОР ВИБРАТОРА ДЛЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ИЛИ ИМПОРТНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

АКСЕЛЕРОМЕТРЫ ДЛЯ ВИБРАТОРОВ И СИСТЕМ КОНТРОЛЯ

Закрытое Акционерное общество "Сейс Эл"

124527, Москва, Зеленоград 815-124
тел./факс: (095) 531-52-58; 364-62-47

E-mail: info@seisel.com,
www.seisel.com

Система синхронизации, управления и контроля SGD-SP для электромагнитных импульсных источников сейсмических колебаний

Бобренко А.А., Ревунов А. Б., Черепанов В.П., Шпильман С.А., НПК "СибГеофизПрибор", г. Новосибирск

"ЕНИСЕЙ" ОТ ОАО "ЕНИСЕЙГЕОФИЗИКА"

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

НПК "СибГеофизПрибор" завершило [illegible] синхронизации, управления и [illegible] SGD-SP (система SGD-SP) для [illegible] импульсных источников возбуж[illegible] сейсмических колебаний и приступило к ее [illegible] За три полевых сезона 2002-05 [illegible] и поставлено геофизическим [illegible] контроллеров SGD-SP - 44 шт. и [illegible] синхронизации и управления SGD-SP - [illegible] которые применяются более чем в 20 [illegible] сейсморазведочных геофизических партиях России.

Система синхронизации и управления SGD-SP предназначена для работы в составе многоканальных сейсморазведочных станций отечественного и зарубежного производства SN-368, SN-388, 408UL фирмы Sercel (Франция), I/O SYSTEM и др. фирмы INPUT OUTPUT, Inc. (США) и т.п., при проведении профильных и площадных сейсморазведочных работ с применением импульсных электромагнитных источников возбуждения сейсмических колебаний типа "ЕНИСЕЙ", "ГЕОТОН" и т.д.

Возбуждение сейсмических колебаний может осуществляться от одной до четырех независимых систем SGD-SP (группами) возбуждения, в состав каждой из которых входит до четырех ("ГЕОТОН", "Енисей СЭМ-20") или до пяти ("Енисей СЭМ-100", "Енисей ВЭМ-100", "Енисей КЭМ-130", "Енисей КЭМ-4") синхронных подгрупп (пунктов) возбуждения. В каждый пункт возбуждения может входить от одного до шести источников "ГЕОТОН" ("СЭМ-20"), до двух источников "Енисей СЭМ-100", "Енисей ВЭМ-100" или один "Енисей КЭМ-130", "Енисей КЭМ-4". Таким образом, возможно возбуждение сейсмических колебаний одновременно двадцатью четырьмя источниками "ГЕОТОН" ("СЭМ-20"), десятью - "Енисей СЭМ-100" или пятью - "Енисей КЭМ-4" [1], [2].

Сначала немного истории о создании современной системы синхронизации, управления и контроля для электромагнитных импульсных источников.

Система синхронизации ***SGD-S***, которая выпускается НПК "СибГеофизПрибор" (ранее "СибГеоСейс") с 1999 г., была предназначена не только для работы с взрывными источниками возбуждения сейсмических колебаний, но и с невзрывными. Управление запуском невзрывного (импульсного) источника было решено здесь традиционным способом, как и во всех системах синхронизации того времени. Т.е. вместо подачи высокого напряжения на клеммы "боевой линии" для подрыва заряда на дополнительном выходе синхронизатора (дешифратора) формируется сигнал запуска импульсного источника. Принципиальным недостатком этих систем синхронизации является отсутствие возможности передачи контрольной информации о работе электромагнитного источника по существующему обратному каналу, аналогично сигналу $T_{верт.}$ для взрывных систем синхронизации.

В августе 2001 г. по заказу филиала "ГЕОТЕХНОЦЕНТР" ОАО "Енисейгеофизика" была завершена разработка и изготовлен опытный образец системы синхронизации и управления кодоимпульсным электромагнитным источником возбуждения сейсмических колебаний на базе системы синхронизации ***SGS-S***. В этой аппаратуре **впервые** для контроля качества работы электромагнитного источника были применены акселерометры и тензометрические датчики. В это же время проходила испытания аппаратура, разработанная и изготовленная ЗАО "Сейс Эл", в которой также использовались акселерометры. В ходе испытаний было установлено, что сильные электромагнитные помехи, которые сопутствуют работе источника в момент удара и заряда накопительного конденсатора, сильно мешают достоверному измерению величин ускорения аналоговыми акселерометрами. Поэтому, один из вариантов решения данной проблемы и возможно единственный, это создание компактного цифрового датчика ускорения полностью защищенного от электромагнитных помех. Что и было реализовано при разработке системы синхронизации и управления ***SGD-SP*** в 2002 г.

В декабре 2001 г. по заказу ОАО "Хантымансийскгеофизика" была сделана попытка реализации контроля качества работы источника "Енисей СЭМ-100" под управлением системы синхронизации ***SGS-S*** с использованием канала $T_{верт.}$ и аналоговых акселерометров. Хотя было понятно, что система не приспособлена для решения этих задач. Однако необходимо было оснастить производственные подразделения уже в текущем полевом сезоне какой-либо системой контроля. В ходе работ в полевом сезоне 2001-02 гг. стало окончательно ясно - необходима разработка специализированной системы синхронизации, управления и контроля для электромагнитных импульсных источников возбуждения сейсмических колебаний, потому что низкая помехозащищенность аналоговых акселерометров не позволяет достоверно зарегистрировать величину ускорения (силу), время начала и окончания воздействия источника на грунт. Максимально, что можно было зарегистрировать - ударил источник или нет. Кроме того, существующая система синхронизации не позволяет контролировать работу одновременно несколько источников и управлять силой воздействия источника на грунт.

В сентябре 2002 г. был получен заказ на создание такой специализированной системы синхронизации,

Таблица 1. Перечень, объем и распределение оборудования выпущенного по настоящее время.

Организация	Тип источника	Контроллер SGD-SP	УСУ SGD-SP	КС SGD-SP	Акселерометр SGD-SP
ОАО Тюменнефтегеофизика ОАО Ямалнефтегеофизика ОАО Самаранефтегеофизика	ГЕОТОН	20	44	169	177
ОАО Хантымансийскгеофизика ОАО Сибнефтегеофизика ООО Богучанская ГЭ ООО Илимпейская ГЭ	Енисей СЭМ - 100	23	83	105	223
ОАО Башнефтегеофизика	Терradин-3	1	1	1	4

SGD-SP для электромагнитных источников "ГЕОТОН". Первые комплекты этой системы (16 источников на 32-х источниках) были отгружены в январе 2002 г. в адрес ОАО "Ямалгеофизгеология". В январе 2003 г. были отгружены две системы для установки на 30 источниках в адрес ОАО "Ямалгеофизика".

Опыт эксплуатации в период времен 2003 г. в Эвенкии и в условиях Крайнего Севера показал правильность выбора технических решений и надежную работу системы.

В апреле 2003 г. в Первомайском районе Тюменской области на базе СИНХ Тарасовой ГЕО ОАО "Ханты-Мансийскгеофизика" были проведены производственные испытания системы SGD-SP, установленной на источниках "Енисей СЭМ-100". По результатам испытаний ОАО "Ханты-Мансийскгеофизика" было заказано оборудование для установки на 40 источниках "Енисей СЭМ-100".

В таблице 1 приведен перечень, объем и распределение оборудования, выпущенного по настоящее время.

Главные особенности системы синхронизации и управления SGD-SP:

- надежная работа в составе многоканальных сейсмических станций отечественного и зарубежного производства;
- высокая помехоустойчивость и точность синхронизации в условиях сильнопересеченной местности и промышленных радиопомех (±50 мкс);
- независимая работа одновременно четырех систем синхронизации;
- работа контроллера в режиме "ведущий-ведомый" для группирования неограниченного количества сейсмостанции и их синхронного запуска;
- одновременная синхронизация, управление и контроль 24-х источников;
- управление напряжением заряда накопительных конденсаторов (сила удара);
- регистрация значений величины ускорения с помощью цифрового акселерометра для контроля силы удара, начала и окончания времени воздействия (удара) источника на грунт;
- регистрация значений величины тока с помощью цифрового датчика тока для контроля тока в электромагните источника;
- контрольная запись величин ускорения и тока в энергонезависимое ЗУ УСУ;
- перезапись контрольных записей из энергонезависимого ЗУ УСУ во внешнее ЗУ ***SGD-MFlash*** или на NoteBook;
- передача по радиоканалу контрольных записей о работе каждого источника на сейсмостанцию и их отображение на вспомогательном канале или на экране вспомогательного компьютера типа NoteBook.

В состав системы SGD-SP входят следующие устройства.

Контроллер ***SGD-SP***, который предназначен для передачи на команды "FIRE" устройство синхронизации и управления (УСУ) ***SGD-SP***, формирования "Time Break" для запуска сейсмостанции, приема сигналов "Decoded Time Break", "Confirmation Time Break" и сигнала "Analog Up Hole Time". Контроллер ***SGD-SP*** устанавливается на сейсмостанции (рис.1.).

Устройства синхронизации и управления (УСУ) ***SGD-SP*** - (от 1 до 5), которые предназначены для приема и дешифрации команды "**FIRE**", переданной контроллером, дистанционного управления и контроля источников, формирование сигналов "Decoded Time Break", "Confirmation Time Break" и передачи их на контроллер. УСУ устанавливаются на транспортных средствах (например, тракторах) буксирующих от 1 до 6 источников (рис. 2.).

Рис. 2. Устройство синхронизации и управления SGD-SP.

Коммутаторы-стабилизаторы (КС) ***SGD-SP*** (от 1 до 24), которые предназначены для управления зарядом накопительных конденсаторов источника, организацией обмена данными между цифровыми акселерометрами и датчиками тока и УСУ ***SGD-SP***. Коммутаторы-стабилизаторы ***SGD-SP*** устанавливаются рядом или внутри устройства заряда-разряда (УЗР) на источниках (рис. 3.).

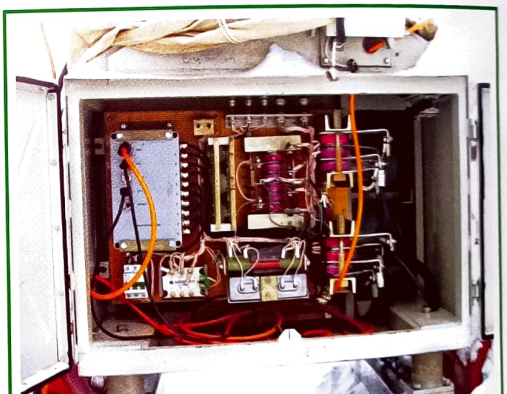


Рис. 3. Коммутатор-стабилизатор SGD-SP и УЗР источника "Енисей СЭМ-100".

Цифровые акселерометры ***SGD-AD*** (от 1 до 24), которые предназначены для измерения и регистрации сигнала ускорения (силы). Акселерометры устанавливаются на "пригрузах" индукторов электромагнитных источников (рис.4.).

Цифровые датчики тока ***SGD-CD*** (от 1 до 24), которые предназначены для измерения и регистрации величины тока через электромагнит. Датчики тока устанавливаются в цепи разряда между накопительным конденсатором и электромаг-

Рис. 1. Контроллер SGD-SP.

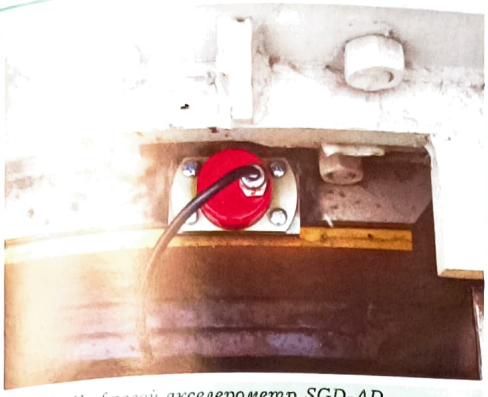


Рис. 4. Цифровой акселерометр SGD-AD.

нитом источника.

Запоминающее устройство ***SGD-MFlash*** (от 1 до 5), которые предназначены для перезаписи контрольных значение величин ускорения и тока из энергонезависимого ЗУ УСУ.

Все устройства, входящие в состав системы (кроме контроллера), предназначены для работы при температуре окружающей среды от -40 до +60°С.

Краткое описание работы системы SGD-SP с одним (ведущим) контроллером.

Один из УСУ SGD-SP назначается ведущим, остальные - ведомыми (до трех штук).

Оператор источника включает питание УСУ, затем тумблерами «1» - «6» включает источники, контролируя при этом состояние индикаторов "ОШИБКА/СИЛА" и "ОШИБКА/НАПР". Включенное состояние индикатора означает неисправность соответственно акселерометра или коммутатора-стабилизатора источника. При отсутствии неисправностей (все индикаторы "ОШИБКА" погашены) оператор источника включает заряд и стабилизацию напряжения на накопительных конденсаторах источников. В процессе заряда конденсаторов на дисплее УСУ индицируются текущие значения напряжений на конденсаторах источников. Когда напряжения на конденсаторах достигают заданных значений, загораются светодиоды УСУ "ГОТОВ". Далее оператор источника передает тоновый сигнал готовности к работе и УСУ переходит в режим приема радиокоманды "FIRE".

Контроллер принимает из сейсмостанции ASCII-строку. По команде сейсмостанции "Firing Order" с контроллера передается сигнал подготовки с частотой 1250 Гц. После сигнала подготовки контроллер передает команду "FIRE". После передачи радиокоманды "FIRE" контроллер, через

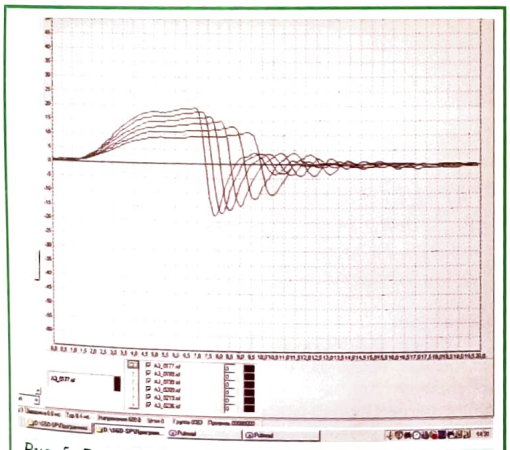


Рис. 5. Временная диаграмма величины ускорения в зависимости от напряжения на накопительных конденсаторах.

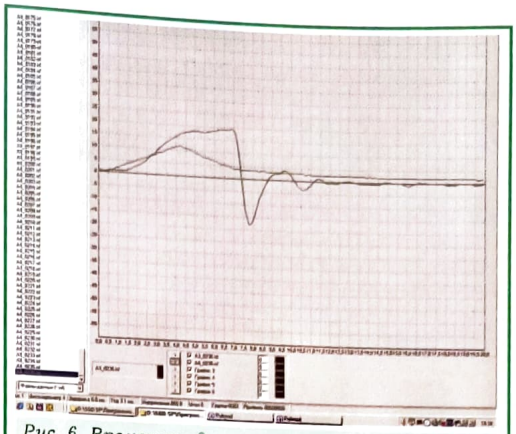


Рис. 6. Временная диаграмма величины ускорения и тока.

заданное оператором время задержки "Задержка от НО", выдает в сейсмостанцию сигнал начала регистрации сейсмограммы "Time Break".

Ведущий УСУ распознает переданную контроллером команду "FIRE", передает декодированной отметки момента "Dec TB", и запускает источник. Ведомые УСУ распознают переданную контроллером команду "FIRE", запускают свои источники.

Акселерометры и датчики тока, установленные на источниках, в течение 20 миллисекунд после удара регистрируют данные об ускорении и токе. УСУ считывают данные, зарегистрированные акселерометрами, и анализируют их с целью определения момента срабатывания источников. Эти данные сохраняются в энергонезависимой памяти УСУ. Момент срабатывания источника определяется по моменту достижения ускорением заранее заданного значения. Если на каком-либо источнике ускорение не достигло заданного значения в течение заданного времени, на УСУ загорается соответствующий светодиод "ОШИБКА/СИЛА".

Далее УСУ передают зафиксированные времена срабатывания источников в контроллер. Последовательность передачи времен срабатывания определяется параметром УСУ "Response order" (от 1 до 4) и номером источника. Каждому из 24-х источников отводится свое временное окно. Момент срабатывания передается путем изменения положения кодовой посылки "Conf TB" (отклика источника) внутри временного окна. Если источник не сработал, или время срабатывания превысило 8 мс, отклик источника не передается. На дисплее УСУ отображаются времена срабатывания подключенных источников.

Контроллер принимает и декодирует сигналы "Dec TB" и "Conf Tb", затем формирует на выходах вспомогательных каналов "ConfTB" и "Ang-UpHole" импульсы длительностью 50 мс. Передний фронт первого импульса соответствует моменту запуска источников. Передние фронты последующих импульсов отстоят от начала соответствующего временного окна (рис.7) на десятикратное время срабатывания источника. Например, если первый источник второго УСУ имеет время срабатывания 1,5 мс, передний фронт соответствующего импульса будет находиться на расстоянии 1465 мс от момента запуска источников, т.е. от переднего фронта первого импульса. На дисплее контроллера также отображается информация о количестве ответивших источников и о среднем времени их срабатывания.

УСУ после выполнения удара снова заряжают накопительные конденсаторы источников, при этом УСУ показывают текущие значения напряжений и ждут очередной радиокоманды "FIRE". На дисплее синхронизаторов также отображается количество произведенных ударов.

По окончании серии накоплений оператор

источника нажатием кнопки УСУ "СБРОС" выключает заряд конденсаторов источников. Для разряда остаточного напряжения на конденсаторах источников оператор должен выполнить удар нажатием кнопки пульта "УДАР", после чего светодиоды "ГОТОВ" гаснут. На дисплее УСУ отображается информация о количестве произведенных в серии ударов и номер следующего пикета возбуждения. При переезде на следующий пикет питание УСУ необходимо выключить.

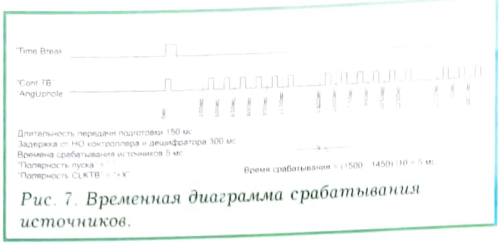


Рис. 7. Временная диаграмма срабатывания источников.

Следует иметь в виду, что в процессе выполнения серии накоплений кнопки "СБРОС" и "УДАР" блокируются после каждого удара на время, равное значению параметра УСУ "Max. Charg. Time", т.е. максимально допустимому времени заряда конденсаторов. Данная блокировка предотвращает преждевременный сброс источников и порчу сейсмограммы выполненным не вовремя ударом.

С июня 2005 г. НПК "СибГеофизПрибор" приступило к производству версии V8 контроллера ***SGD-SP*** и УСУ ***SGD-SP***, с добавлением новых функций:

Новые особенности системы синхронизации и управления SGD-SP:

- *возможность подключения GPS-приемника* с протоколом NMEA 0183 к УСУ ***SGD-SP*** и автоматическое отображение положения пункта возбуждения средствами сейсмостанции;
- *увеличена скорость передачи данных по радиоканалу и объем контрольной информации* на сейсмостанцию и их отображение на графическом экране большего размера нового контроллера ***SGD-SP*** или компьютера типа NoteBook (оперативный контроль качества работы импульсных источников).

Нами были разработаны и предложены Заказчикам более современные и надежные варианты УЗР.

Первый УЗР "**4 kW, 380 V**" предназначен для замены существующих на источниках "Енисей" имеет следующие основные характеристики:

- Количество каналов заряда/разряда накопительных конденсаторов - два.
- Количество каналов для подключения акселерометров и датчиков тока - четыре.
- Ток заряда накопительной конденсаторных батарей от 4 до 6 А (генератор тока с системой мягкого пуска).
- Рабочее напряжение заряда конденсаторных батарей - 600, 650, 700, 750, 800, 850 и 900 В.
- Время заряда конденсаторной батарей емкостью 20000 мкФ до напряжения 900 В не более 6с.
- Ударный коммутируемый ток не более 35 кА.
- Питания от трехфазной сети переменного тока 50Гц с напряжением (380 ± 38) В.
- Диапазон рабочих температур от -40 до + 40 С.
- Габаритные размеры не более 600×435×141 мм.

Производственные испытания УЗР "**4 kW, 380 V**" были проведены в августе-сентябре 2004 года в ОАО "Ханты-мансийскгеофизика".

Второй УЗР "**1 kW, 24 V**" предназначен для установки на источниках типа "Енисей СЭМ-20" при исследовании ВЧР с малоканальными сейсмическими станциями, где необходимо обеспечить минимальный уровень акустических и сейсмических помех, которые создают работающие двигатели транспортного средства и питающей электростанции. В течение полевого сезона 2004-05 г. этот УЗР успешно прошел производственные испытания в ОАО "Сибнефтегеофизика". УЗР "1 kW, 24 V" имеет следующие технические характеристики:

- Количество каналов заряда/разряда накопительных конденсаторов - один.
- Количество каналов для подключения акселерометров и датчиков тока - два.
- Ток заряда конденсаторных батарей не менее 1,25 А (генератор тока с системой мягкого пуска).
- Рабочее напряжение заряда конденсаторных батарей 600, 650, 700, 750 и 800 В.
- Время заряда конденсаторной батарей емкостью 6000 мкФ до напряжения 800 В 5 с.
- Ударный коммутируемый ток не более 14 кА.
- Входное напряжение питания постоянного тока от 21 до 27 В.
- Максимальный потребляемый ток, при напряжении на нагрузке 800 В, не более 60 А.
- Диапазон рабочих температур от -40 до + 40 С.
- Габаритные размеры УЗР не более 393×435 ×141 мм.

Рис. 8. Устройство заряда-разряда «4 kW,380 V».

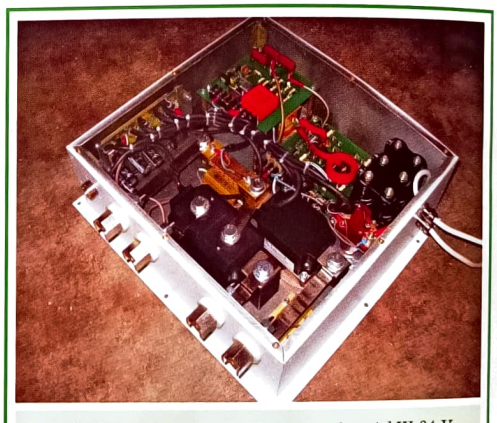


Рис. 9. Устройство заряда-разряда «1 kW,24 V».

В настоящее время завершается разработка УЗР "**2 kW, 24 V**", который предназначен для установки на источниках типа "Енисей СЭМ-50", "Енисей ВЭМ-100" и "Енисей КЭМ".

Литература

1. Анкушев В.В., Гурьев С.В., Резвов В.И. Компания "ГЕОСЕЙС" представляет новый импульсный источник возбуждения "Геотон". Приборы и системы разведочной геофизики, № 01/2003 г., г. Саратов.
2. Смирнов В.П. Электромагнитные источники сейсмических колебаний ряда "Енисей СЭМ, КЭМ". Приборы и системы разведочной геофизики, № 01/2003 г., г. Саратов.

Технические средства и содержание проверки источников ряда "Енисей" в цикле накопления одиночных и групповых воздействий

Смирнов В.П., "Геотехноцентр" филиал ОАО "Енисейгеофизика", г. Минусинск

Конструкции электромагнитных импульсных источников ряда "Енисей" позволяют изменять ряд параметров: напряжение на конденсаторной батарее, емкость конденсаторной батареи, величину зазора в электромагнитах, количество работающих излучателей: 1, 2, 4.

Если не задаваться стремлением возбуждать упругие колебания очень большой интенсивности, то можно подобрать параметры источника, при которых нагрузки излучателей на грунт не будут превышать предел упругости последнего. То есть после 2-4 воздействий, которые устраняют неровности грунта (снега, льда) под плитой (полозом) электромагнитного излучателя, амплитуды упругих колебаний практически не будут изменяться при числе воздействий равным 8, 16, 32, 64, 128, 256; а неупругие деформации в грунте не будут накапливаться.

При соблюдении условий определенных выше, разрушений структуры грунта под излучателями "Енисей КЭМ-4" не наблюдалось даже тогда, когда число воздействий на пункте возбуждения достигало 720 (по данным фирмы CGG, полученным при полевых экспериментах в провинции Эльзас).

Рассмотрим сейсмические и эксплуатационные характеристики электромагнитных импульсных источников ряда "Енисей" в последовательности, изложенной в работе [1].

Синхронность воздействий: разброс времени между отметкой момента (на канале сейсмостанции) или началом отсчета (на канале осциллографа) и воздействием источника на грунт (по первому вступлению, первому минимуму или максимуму записи т.д.) для одного источника в режиме вертикального накопления не может превышать 0,04 мс согласно материалов многолетних (2000 - 2005 гг.) измерений с помощью цифрового осциллографа "Tektronix" в окне 20 мс при цене деления 0,04 мс - 20 мс/500 отсчетов.

Оценка синхронности воздействий четырех источников группы при последовательной установке каждого из них в одно и то же место дает величину разброса ≤0,04 мс (рис. 1, источники "Енисей КЭМ-2").Из рис. 1 следует, что видимая частота импульса возбуждения на глубине 50 м от излучателя составляет порядка 60 Гц (T=0,017 с).

Допустимый разброс времен срабатывания невзрывного источника в режиме синхронного накопления в [1] определяется величиной ±2 мс. Ранее [2] для источников СИП-1, ГСК-10, ГСК-4 и для возбуждаемых колебаний с частотами 20-35 Гц "среднеквадратичное отклонение во времени воздействия" источника определялось цифрой 2-3 мс.

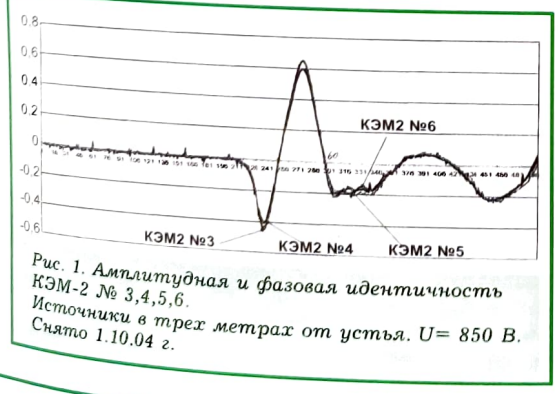


Рис. 1. Амплитудная и фазовая идентичность КЭМ-2 № 3,4,5,6. Источники в трех метрах от устья. U= 850 В. Снято 1.10.04 г.

Экспериментальные исследования с источником "Енисей-4" на базе "Геотехноцентра" филиала ОАО "Енисейгеофизика" показывают, что при временных сдвигах воздействий 4-х излучателей на 0,25 мс (Σ 1 мс), амплитуда экстремума падающей волны (рис.1) уменьшается, как минимум, на 20%. При сдвигах на 1,0 мс (0+1+1+1=Σ3) амплитуда экстремума уменьшилась на 50%.

Следовательно, при синхронном вертикальном накоплении воздействий источника и группировании источников допустимый разброс времен срабатывания должен быть уменьшен до 0,1 мс.

Повышенные требования к синхронности срабатывания источников группы должны выполняться и при использовании взрывной технологии, особенно в высокоразрешающей сейсморазведке. Однако, на сегодня известные сейсмические детонаторы - СВ имеют разброс времен срабатывания в пределах 2 (3) мс.

Так как регистрирующая аппаратура на современном этапе развития в основном работает в режимах записи с дискретом 2 мс (редко 1 мс), контроль синхронизации источников с точностью до 0,1 мс по сейсмограммам выполнить невозможно.

Контроль и анализ работы электромагнитных источников можно выполнить, измеряя с высокой точностью: токовый импульс при разряде конденсаторной батареи (рис.3); ускорения на пригрузе (рис.2); импульс возбуждения от скважинного сейсмоприемника (рис.1), - цифровым 4-х лучевым осциллографом типа Tektronix с несущей частотой 60 - 100 МГц, с программным обеспечением для обработки результатов измерений, их архивации на магнитном носителе, передачи данных в компьютер. Измерения осциллографом токового импульса, ускорения на пригрузе технически могут быть выполнены в полевых и лабораторных условиях на любом источнике ряда "Енисей".

Измерения ускорения на пригрузе по упрощенной схеме реализованы в системах синхронизации и управления невзрывными источниками SGD-SP ("Сибгеофизприбор") и ССВ-2 (ОАО "СКБ СП") с временной погрешностью не менее 0,5 мс согласно материалов приемочных испытаний системы SGD от 5 мая 2003 года.

Следует заметить, что ток разряда конденсаторной батареи с достоверностью снимается с шунта на всем практически значимом временном интервале процесса (рис.3); ускорение же на пригрузе, а тем более на якоре, имеет смысл только до момента выбора зазора между якорем и индуктором (до момента схлопывания якоря и индуктора) - от 4-х до 10,4 мс на рис. 4, до 7,8 мс на рис. 2. С момента контакта якоря с индуктором и их совместного движения вверх за счет кинетической энергии акселерометры на якоре и пригрузах фиксируют сложные упругие колебания системы якорь-индуктор с пригрузом в свободном движении вверх-вниз, в том числе и внутренние колебания типа стоячих волн в металлических деталях.

До возврата якоря на опоры плиты излучателя

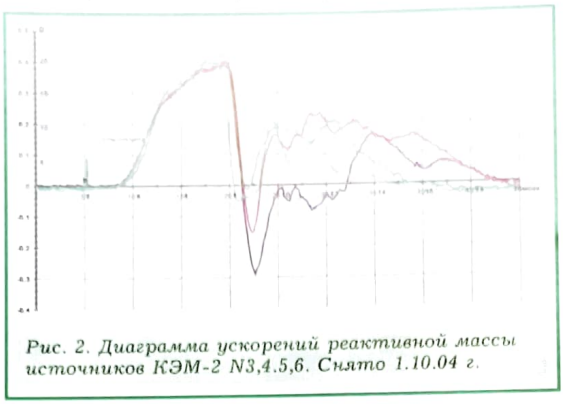


Рис. 2. Диаграмма ускорений реактивной массы источников КЭМ-2 N3,4,5,6. Снято 1.10.04 г.

индуктором графики ускорения на пригрузах с высокой точностью характеризуют синхронность и идентичность срабатывания излучателей источников, идентичность воздействия излучателей на грунт (рис. 2 и 4).

Графики ускорений на якорях излучателей через 2 - 3 мс от начала выбора зазора свидетельствуют о недостаточном динамическом диапазоне применяемых акселерометров ADXL190WQC, не выдерживающих "ударных" нагрузок на якоре при возрастании ускорений свыше 20 - 30 g за время около 2,0 мс (рис.4).

В схеме формирования пусковых импульсов управления силовыми тиристорами разрядной цепи отсутствуют электротехнические элементы, вносящие значительные временные задержки разряда конденсаторной батареи.

Суммарная величина задержек на электронных элементах не может превышать 0,07 - 0,08 мс и не может контрастно изменяться во времени. Случай появления в электротехнической схеме элемента с аномальной задержкой будет либо предупрежден, либо обнаружен при входном контроле, в процессе пуско-наладочных работ на источнике и проконтролирован при паспортизации источника при предпродажной подготовке "Изготовителем". За период (2000 - 2005 гг.) паспортизации источников ряда "Енисей" с применением цифровых осциллографов подобных случаев не было.

На рис.1-4 продемонстрирована с высокой точностью (в окне 20 мс с числом отсчетов - 500) синхронность срабатывания электромагнитных источников ряда "Енисей" при внутреннем (по замерам токовых импульсов и ускорений) и внешнем (по импульсу возбуждения, зарегистрированному скважинным сейсмоприемником) контроле. Очевидно, что внутренний контроль синхронности источников по токовым импульсам и графикам ускорений не зависит от взаимного расположения источников в группе. При проверке синхронности источников по показаниям скважинного или наземного сейсмоприемника требуется строгая установка проверяемых источников в контрольную точку. Данное условие зачастую на момент проверки становится практически невыполнимым при работе по просекам в горно-таежной местности или по ледовым покровам водоемов.

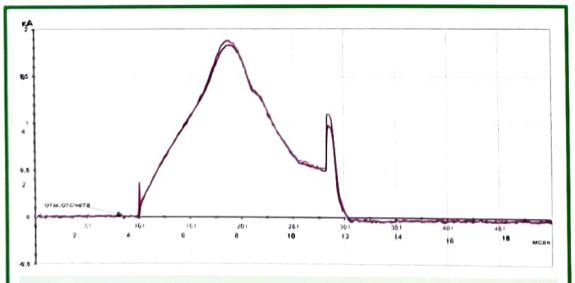


Рис. 3. Диаграмма токов в катушке индукторов источников СЭМ-100м N139,141 при 850В. Снято 20.05.05 г.

Повторяемость воздействий (амплитудно-фазовая идентичность) - сохранение формы и амплитуды записей импульсов возбуждения для каждого источника применяемой группы для "вертикального" накапливания сигналов.

Оценку данной эксплуатационной характеристики одиночных источников ряда "Енисей" частично иллюстрируют рис. 1-4. Экспериментальные данные, приведенные на рис. 5, позволяют оценить нижний предел данного параметра при группировании шести источников "Енисей СЭМ - 100". Импульсы возбуждения продольной волны для источников № 140, 136; № 141, 138 попарно совпадают полностью при расстоянии между излучателями около одного метра (см. значение амплитуд по первому минимуму 0,33 и 0,133 В; 0,127 и 0,127 В). Удаление источника №137 вдоль группы еще на 1 м обусловило уменьшение амплитуды первого минимума до 0,118 В, источника № 139 перпендикулярно оси группы на 5 м (4м + 1м) - до 0,108 В. То есть, разброс значений амплитуд по первому минимуму составил 0,25 В или 19% от максимального значения амплитуды; разброс времен по экстремуму первого минимума для шести источников не превысил 0,15 мс. Приведенная ниже запись суммотрассы такой группы, нормированная делением на шесть, характеризуется амплитудой минимума 0,124 В (отклонение 7% относительно амплитуд источников 140 и 136) и временным отклонением от записи для источника № 139 по импульсу возбуждения продольной волны не более чем на 0,1 мс.

Для следующего за импульсом возбуждения продольной волны импульса поперечной волны (средние скорости соответственно 2000 и 1310 м/с) разбросы времени по первому максимуму превышают 2 мс, а отклонение амплитуды нормированной суммотрасы относительно амплитуд воздействий от одиночных источников 20 - 40%.

Можно сравнить приведенные данные с требованиями инструкций по сейсморазведке образца шестидесятых-восьмидесятых годов к техническому состоянию сейсморазведочной аппаратуры и оборудованию, которые были тогда определены количественно. Например, "отметка момента взрыва должна быть четкой и устойчивой, обеспечивающий определение момента взрыва с точностью не меньше ±0,0015 с..., фазовые сдвиги между каналами не должны превышать 8 % от видимого периода записи..." ("Инструкция по сейсморазведке", Гостоптехиздат, 1962 г).

Выше уже была отмечена точность "отметки момента" (точность запуска тиристорных источников ряда "Енисей" - не более 0,1 мс) доступная для проверки современным цифровым осциллографом, который в любой момент может быть подвергнут метрологической проверке. Допустимые фазовые сдвиги сейсмозаписей одиночных воздействий в процессе накопления для видимых периодов 15 - 25 мс (66 - 40 Гц) согласно последнему требованию инструкции по сейсморазведке будут равны 1,2 - 2,0 мс (8% × Т вид). Требуемая проверка амплитудно-фазовой идентичности одиночных воздействий для каждого из

источников применяемой группы или всей группы и целом может быть выполнена с применением синхронизации с дискретом записи не более 1,0 мс. На рис. 6 и 7 получены при регистрации одиночных и групповых воздействий с дискретом записи 0,5 мс (SN-388) и свидетельствуют о величине взаимных временных сдвигов не более 0,5 - 1,0 мс, на пределе временной разрешенности. Амплитудная идентичность сигналов (рис. 6 - 7) одиночных или групповых воздействий источников в процессе вертикального суммирования не превышает 1- 3% и не зависит от выбранной электротехнической схемы разряда конденсаторной батареи (рис.6).

Электромагнитные источники ряда "Енисей" функционируют в ждущем режиме и срабатывают после последовательности серии команд по каналу связи:

"Начало отсчета" - с шифратора системы управления и синхронизации на дешифратор данной системы, с погрешностью ±0,1 мс;

"Отсчет момента" с дешифратора выше названной системы на шифратор, с погрешностью ±0,1 мс.

Команда "начало отсчета" запускает сейсмостанцию с задержкой от 200 до 1100 мс;

"Величина программируемой задержки" от момента выделения дешифратором команды "начало отсчета" до запуска невзрывного источника от 300 до 1500 мс". Изготовители систем синхронизации и управления, как правило, не приводят информацию о погрешности исполнения задержки в указанном (выбранном) окне. Будем условно считать их абсолютно точными.

Практическое значение имеет превышение задержки на дешифраторе над задержкой на шифраторе, чтобы сейсмостанция начала запись раньше, чем сработают источники.

Сигнал запуска электромагнитного источника через оптрон или трансформатор не может иметь погрешность выше 0,01 мс - 0,001 мс.

На основе приведенных экспериментальных и определенных в инструкциях по эксплуатации систем управления источниками данных можно констатировать, что максимально возможные допущенные погрешности срабатывания источников ряда "Енисей" - 0,1 мс сопоставимы с погрешностями передачи команд на 2-х уровнях (шифратор ↔ дешифратор) - 0,1 мс. Данное обстоятельство заслуживает внимания в свете распространяемых мнений о необходимости контроля через систему управления за синхронизацией "собственно источников" ряда "Енисей" при регистрации каждой сейсмограммы в реальном времени по показаниям акселерометров с неизвестной погрешностью, как правило, изготовленных на основе импортных элементов без соответствующей техдокументации, но с предупреждением в рекламных листах типа "Беречь от ударов". И это для контрольных датчиков, устанавливаемых на источниках, элементы которых подвергаются ускорениям до 20-30 g на временных интервалах в 2-4 мс при числе воздействий в период эксплуатации свыше $(2\text{-}3)\cdot10^{+5}$.

Требования контроля на этапе полевых работ за синхронностью электромагнитных источников ряда "Енисей" при регистрации каждого воздействия датчиками ускорений сомнительного происхождения с неустойчивым режимом работы, непродолжительным ресурсом жизнедеятельности относительно срока эксплуатации источников ни чем не обоснованы. Документация на системы управления и датчики имеет закрытый характер, контрольные действия при обслуживании систем управления ограничены одним требованием: "сохранность пломб предприятия изготовителя". В то же время электротехническая и механические системы источника полностью открыты для "Пользователя".

Обоснованными многолетним опытом работ с источниками ряда "Енисей" и достаточными действиями в данном направлении являются традиционные периодические поверки: перед началом и в конце полевых работ, ежемесячно, ежедекадно, в случае чрезвычайных происшествий с источниками (утопление и т.д.) с применением средств измерения, которые можно подвергнуть метрологической проверке, которые, по крайней мере, проверены опытом многолетней эксплуатации в российской геофизической службе, как-то: осциллограф, шунты, сейсмоприемники. Использование акселерометров типа ADXL при НИОКР на опытном производстве "Енисей-геофизики" оправдано для изучения кинематики процесса формирования импульса воздействия на

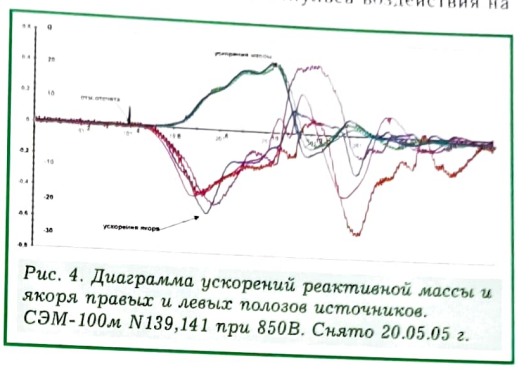


Рис. 4. Диаграмма ускорений реактивной массы и якоря правых и левых полозов источников. СЭМ-100м N139,141 при 850В. Снято 20.05.05 г.

плиту излучателя при минимальном уровне затрат. Недолговечность и неустойчивый режим работы датчиков в лабораторных условиях не имеет принципиального значения. Исследования основываются на совокупности данных многократных измерений, с заменой датчиков.

В комплексе технических средств: регистрирующая аппаратура, система синхронизации и управления источниками сейсмических колебаний, электромагнитные импульсные источники ряда "Енисей" - величина разброса времен срабатывания, большая, чем 0,1 мс, зависит только от второй составляющей комплекса. Подавляющее большинство случаев несрабатывания источников в любых климатических и погодных условиях обусловлено сбоями в передаче команд от шифратора к дешифратору из-за неустойчивой работы канала радиосвязи.

Остановимся теперь на частотном составе и интенсивности возбуждаемых колебаний.

В среднем видимая частота колебаний от импульсных источников находится в пределах от 20-22 до 30-35 Гц (М.Б. Шнеерсон). Импульсы

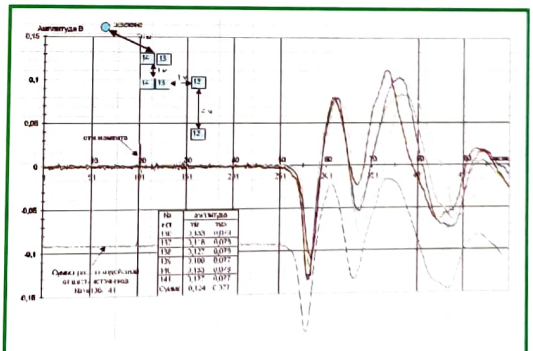


Рис. 5. Амплитудно-фазовая идентичность одиночных источников „Енисей СЭМ-100м" в группе (6 шт.). Замеры выполнены скважинным зондом (глубина 50 м) при площадном расположении источников (x,y = 1 - 4 м).

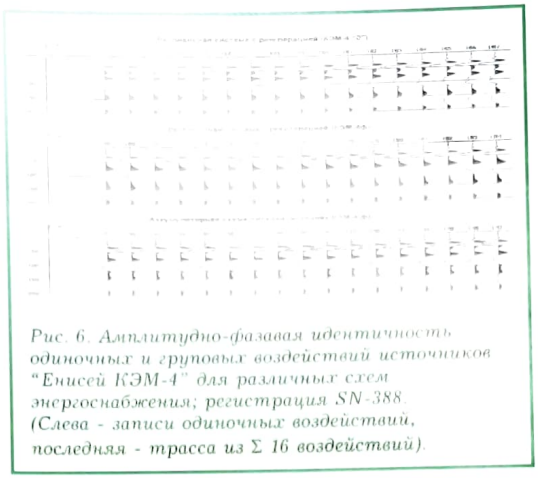


Рис. 6. Амплитудно-фазовая идентичность одиночных и групповых воздействий источников "Енисей КЭМ-4" для различных схем энергоснабжения; регистрация SN-388. (Слева - записи одиночных воздействий, последняя - трасса из Σ 16 воздействий).

возбуждения от источников ряда "Енисей" характеризуются по продольным волнам видимыми частотами 40 - 70 Гц (рис. 1,5).

Незначительный разброс (менее 0,1 мс) времен срабатывания источников ряда "Енисей" в процессе вертикального накопления 4, 8, 16, 32 и более воздействий обеспечивает практически постоянный частотный состав суммотрасс, выделение полезного регулярного сигнала на фоне микросейсм. Отмеченное свойство и независимость параметров электромагнитных источников от

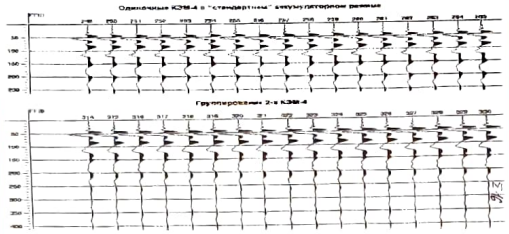


Рис. 7. Амплитудно-фазовая идентичность одиночных и групповых воздействий источников "Енисей КЭМ-4"; регистрация SN-388. (Слева - записи одиночных воздействий, последняя - трасса из Σ 16 воздействий).

климатических условий, технически просто реализуемые требования к подготовке условий установки (проминка колеи транспортными средствами и т.д.), экологическая чистота способствуют широкому применению источников ряда "Енисей" в любых климатических и поверхностных условиях.

Проверка параметров источников ряда "Енисей", влияющих на интенсивность возбуждаемых колебаний, с рабочего места оператора заключается в контроле зазора между якорем и индуктором электромагнита щупом с допуском ±0,5 мм; напряжения заряда (850 - 950 В) конденсаторной батареи вольтметром на пульте управления с допуском ± 10 В.

Выпускаемые системы синхронизации и управления с функциями контроля рабочих параметров электромагнитного источника направлены на приоритетное дублирование функций и действий оператора. Например, если по показаниям акселерометра в заданном времени не достигнуто ускорение 10 g, система блокирует работу источника. Параметры группирования источников в данной ситуации, если работы продолжаются, нарушены; сейсмоотряд простаивает если супервайзер требует сохранения параметров группы источников. В действительности же ситуация может быть вызвана возникшей неисправностью в самом акселерометре, в другом месте системы управления при технически исправных источниках.

Экономически и методически оправдано применение систем контроля, диагностики и управления параметрами электромагнитного источника, в которые заложены паспортные данные на параметры и режимы работы источника.

Опытное производство ОАО "Енисейгеофизика" уже четвертый год разрабатывает подобную систему управления, синхронизации, контроля и диагностики.

В качестве эталонной информации в систему закладываются семейства функциональных последовательностей: изменения во времени тока разряда при переборе фиксированных значений напряжения на конденсаторной батареи, зазора между якорем и индуктором; то же самое для ускорений на пригрузе и на якоре электромагнита на интервале от момента начала разряда конденсаторной батареи до момента выбора зазора; изменения во времени тока разряда в случаях "залипания" якоря и индуктора электромагнита, выброса якоря с опор излучателя и т.д.

Идеология системы выглядит следующим образом: эталонная информация архивируется "Изготовителем" на этапе предпродажной подготовке по каждому источнику и при сдаче-приемке передается "Покупателю", который вводит эти эталонные данные в приобретенную им систему. При желании "Покупатель" может в конкретных сейсмогеологических условиях создать эталонные данные собственного изготовления. Тождественность независимо созданных эталонных данных для горизонтально установленного источника на грунте, снежном накате будет объективно свидетельствовать о работоспособности источника и достаточной квалификации обслуживающего персонала "Покупателя". В дальнейшем, в процессе сейсморазведочных работ в пульте управления источником, как составной части системы, документируются данные о токе разряда, ускорениях; сопоставляются с эталонными при фиксированном зазоре, в случае их отклонения от эталонных обращаются к данным с переменным зазором. Если диагностика не может быть однозначно определена, система запросит несколько минут для тестирования источника собственными действиями или пригласит для участия в тестировании наладчика электромагнитных источников, например: для изменения зазоров между якорем и индуктором, возникшим по тем или иным причинам.

В заключении автор заранее приносит извинения читателям, за затянутость изложения конкретного вопроса, не в пример тексту "Инструкции...", 1962 г. Автор стремился обратить внимание читателя на запущенность, бездействие геологической службы РФ в вопросах обмена опытом, сбора и анализа методической и метрологической информации от "Заказчиков" и "Подрядчиков", о проведенных геофизических работах и полученных результатах, в регламенте приема-сдачи полевых материалов, в единоличных требованиях к качеству полевых материалов со стороны "Заказчиков" и нанятых ими супервайзеров, в вопросах вневедомственной приемки технических разработок.

Литература

1. Теория и практика наземной невзрывной сейсморазведки. Под редакцией М.Б. Шнеерсона, М., "Недра", 1998.
2. Справочник геофизика. том "Сейсморазведка", М. "Недра", 1981 г.

Разрушающие факторы динамического воздействия источников сейсмических колебаний на здания и сооружения

Смирнов В.П., "Геотехноцентр" филиал ОАО "Енисейгеофизика", г. Минусинск

Необходимость оценки поведения грунтов и размещенных в них коммуникаций, фундаментов зданий и сооружений и т.д. может возникать по ряду причин:

- при изучении или прогнозе последствий землетрясений;
- при проектировании и производстве промышленных взрывов различного назначения;
- при размещении на фундаментах вибрирующих - ударных механизмов (турбин, компрессоров, кузнечных молотов, прессов и т.д.);
- на пересечениях коммуникаций, трубопроводов дорогами, по которым движется скоростной и тяжеловесный транспорт;
- при сейсморазведочных работах.

Динамические нагрузки на грунт определяются тремя параметрами: амплитудой воздействия, продолжительностью действия динамической нагрузки, частотой (спектром частот) воздействия.

Землетрясения подвергают грунт нерегулярным нагрузкам с относительно низкой частотой, высокоамплитудным деформациям большой продолжительности (от нескольких минут до секунд).

Вибрирующие механизмы вызывают периодическую нагрузку, которая может быть либо гармонической, либо негармонической. Нагрузка при их действии имеет более высокую частоту, чем при землетрясении, относительно меньшие деформации, но принципиально иную продолжительность - дни, месяцы, годы.

При проведении сейсморазведочных исследований с взрывной технологией методом отраженных волн (МОВ) грунт испытывает малые деформации, не сопоставимые с деформациями от промышленных взрывов, взрывов при работах КМПВ с целью исследования глубинного строения земли (ГСЗ). Взрывы при работах МОВ накладывают на грунт импульсную нагрузку небольшой продолжительности (десятки миллисекунд), которая быстро затухает по мере удаления от источника.

По литературным данным (О. Андерсленд, Д. Андерсон) с нашими дополнениями порядок соотношения амплитуд деформации мерзлых грунтов для различных источников сейсмических колебаний следующий:

- подземный ядерный взрыв - $5 \cdot 10^{-1}$ - $5 \cdot 10^{-2}$ %;
- сильное землетрясение - 10^{-1} - 10^{-2} %;
- вибрация фундаментов под механизмами - 10^{-4} - 10^{-5} %;
- сейсморазведка МОВ с взрывной технологией - 10^{-4} - 10^{-7} %.

Сейсмические колебания при невзрывных технологиях:

- гидравлические вибраторы - меньше 10^{-7} % при продолжительности воздействий до первых десятков секунд;
- импульсные источники - меньше 10^{-7} - 10^{-10}% при продолжительности импульса воздействия до 10 - 30 мс.

Практика сейсморазведочных работ с невзрывной технологией показала, что уровни интенсивности возбуждаемых сигналов от источников, излучатели которых не разрушают грунт в контактной зоне, сопоставимы с уровнем естественных микросейсм (ветровые микросейсмы, микросейсмы от растрескивания льда на водоемах, волнения в прибрежной зоне и т.д.)

Микросейсмы технического происхождения (от пролетающих самолетов, проходящих поездов, наземного транспорта и т.д.) превышают по интенсивности сейсмические сигналы от взрывов в скважинных тротиловых зарядов весом 0,4 - 5,2 кг.

Особенностью электромагнитных источников "Енисей" (санный, колесный, водный - СЭМ, КЭМ, ВЭМ) является отсутствие прямой ударной нагрузки на грунт.

Преобразователи электрической энергии в механическую - электромагниты источников "Енисей" состоят из индукторов, которые крепятся к пригрузам весом 600 - 1800 кг, якорей, расположенных над индукторами с зазорами 4 - 7 мм и опирающихся на опоры станины полоза, шахты излучателей, установленных на грунт (снег, лед, воду).

При прохождении импульса тока в несколько килоампер длительностью 5 - 7 мс через катушки индуктора между полюсами индуктора и якоря возникает электромагнитное поле. Магнитодвижущая сила стягивает индуктор и якорь. Индуктор вместе с пригрузом весом 600 - 1800 кг притягивается к якорю. Жестко лежащий на опорах станины якорь будет воздействовать на грунт через плиту излучателя с силой, зависящей от соотношения масс пригруза и якоря со станиной и опорной плитой, от массы присоединенного грунта.

Не вдаваясь в сложные полуколичественные и качественные оценки силы воздействия электромагнитного источника на грунт, отметим, что скорость деформации грунта под плитой излучателя источника "Енисей" не может превышать 1,5 м/с (предельная скорость движения пригруза при выборе зазора 4 - 7 мм); амплитуда смещения грунта под плитой излучателя 4 - 7 мм (расстояние между якорем и индуктором величины зазора); время активного воздействия излучателя на грунт 5 - 7 мс. Так как экспериментальные данные позволяют утверждать, что излучатели электромагнитных источников ряда "Енисей" не оставляют после 8 - 16 воздействий штампа на поверхности грунта глубже 3 - 5 мм, амплитуду смещения грунта под плитой излучателя от одиночного воздействия можно определить долями и в процессе накопления воздействий - первыми миллиметрами; на глубинах с 0,5 м под излучателем деформации грунта в процессе воздействий не накапливаются и не могут превышать долей миллиметра.

На основе измерения давления одного полоза "Енисей СЭМ - 100" (два электромагнита) тензодатчиком на глубине 0,5 м деформирующее динамическое давление санного полоза СЭМ - 100 на поверхности грунта в момент воздействия составит - 0,04 МПа.

Учитывая данные скважинных наблюдений, можно констатировать затухание продольных и поверхностных волн на расстояние в 10 м по горизонтали и на глубину 2 - 4 м на 24 - 48 дБ. Таким образом, динамическое давление излучателя СЭМ - 100 в грунте на глубине 2 - 4 м, на расстояние в 10 м по поверхности можно оценить величиной меньшей 0,002 МПа при очень короткой продолжительности "ударной" волны (не более 0,020 - 0,050 с).

В таблице 1 приведены значения давлений в проходящей воздушной ударной волне большой продолжительности (больше 0,1 с), при которых в

Уровни опасных давлений в воздушно-ударной волне, опасные для зданий и сооружений

и сооружений	Давление в МПа, при котором происходит разрушение		
	Полное	Сильное	Слабое
...ния с металлическим или железобетонным каркасом	0,5 - 0,8	0,3 - 0,5	0,05 - 0,2
...ными стенами (более 3-х этажей)	0,3 - 0,4	0,2 - 0,3	0,05 - 0,1
...ные дома с металлическим каркасом	0,35 - 0,45	0,25 - 0,35	0,07 - 0,15	
	0,2 - 0,3	0,12 - 0,2	0,06 - 0,08
...ударе	1,0	0,5	0,1 - 0,3
Смотровые ...	20 и более	15 - 20	6 - 10
Подземные ... трубопроводы диаметром менее 340 мм	20 и более	15 - 20	6 - 10
То же диаметр ... мм	10 и более	6 - 10	2- 3,5
Кабельные ...	10 и более	5 - 10	2 - 3
Воздушные высоковольтные линии передач	1,0	0,5	0,1 - 0,3

...элементах сооружения происходят различные разрушения[1].

Учитывая то обстоятельство, что коммуникации городов, зимой перекрыты сверху слоем мерзлых грунтов, приводим сопоставление энергии, накапливаемой в конденсаторной батарее "Енисея СЭМ" - предельное значение 11 кДж, с энергиями ударов пневмогидравлических молотов: 3 - 9 кДж; дизель - молотов в различных модификациях: 30 - 90 кДж; копровых баб: 7 - 100 кДж; пневмоударников и пневмомолотов при числе ударов в минуту до 1250 - 350: 0,1 2,5 кДж.

Все эти механизмы применяются в первую очередь при разработке мерзлых грунтов, в т.ч. и вблизи зданий, сооружений, коммуникаций.

Невзрывные источники сейсмических колебаний вибрационного типа: Input/Output, Mertz и т.д. - работали и работают в различных городах мира. Для вибраторов характерно давление плиты на грунт порядка 1,2 МПа (сравнить с давлением полоза "Енисей СЭМ - 100" - 0,04 МПа, т.е. в 30 раз меньше чем у вибратора).

Полная масса собственно вибратора - 10 - 17 тонн против 7 тонн "Енисея СЭМ" (18 тонн "Енисей КЭМ - 4").

Длительность непрерывного воздействия на грунт вибратора 10 - 30 с и более, против 0,02 - 0,05 с при импульсном воздействии источников ряда "Енисей".

Следует подчеркнуть, что поведение коммуникаций при вибрационных нагрузках отличается от их поведения при однократных кратковременных нагрузках. Комбинация напряжений и деформаций, являющаяся в какой-либо точке коммуникации безопасной, не приводящей к разрушению при однократном воздействии может оказаться разрушающей при многократном повторении, с переменой частоты следования нагрузок.

Любая система коммуникаций состоит из прямолинейных и криволинейных участков, изогнутых по разным радиусам. Кривые участки (колена) являются наиболее напряженными элементами трубопроводов; наряду с воздействием внутреннего давления, они подвержены также изгибу и в ряде случаев знакопеременным нагрузкам при включении трубопроводов, при изменении температурного режима транспортируемой среды, при воздействии источников сейсмических колебаний (землетрясений, воздушных ударов от пролетающих самолетов, особенно при прохождении последними звукового барьера, вибраций от проходящих поездов, строительных и землеройных машин и т.д.)

В справочнике "Расчет трубопроводов на прочность" [2] при рассмотрении силовых воздействий от давления засыпки грунта, подвижных нагрузок (поезда, трактора и пр.) на трубопроводы указано, что часто значение давления на коммуникации грунта и подвижных нагрузок при оценке несущей способности стальных трубопроводов преувеличивается. Если стальной трубопровод рассчитан по первому предельному состоянию, т.е. на прочность под действием внутреннего давления (0,4 - 0,6 МПа), то нет оснований опасаться, что трубы потеряют устойчивость от внешних нагрузок. При соотношении толщины стенок к диаметру порядка 0,005, нет оснований опасаться потери устойчивости стальных труб, уложенных в грунт (Г.Г. Клейн), от внешних воздействий.

Исходя из выше сказанного, можно сделать следующие выводы:

а) на сегодня импульсные источники ряда "Енисей" характеризуются наименьшими по амплитуде и продолжительности воздействиями на грунт;

б) оснований для опасений, что проведение сейсморазведочных работ с применением электромагнитных источников упругих колебаний "Енисей СЭМ, КЭМ, ВЭМ" в пределах населенных пунктов, на участках расположения коммуникаций различного рода вызовет повреждение зданий, сооружений, трубопроводов, нет;

в) при возбуждении упругих колебаний источниками ряда "Енисей" вблизи зданий и сооружений, над коммуникациями в первую очередь следует опасаться создания нагрузок на грунт от транспортного средства (вес свыше 10 тонн, скорость перемещения при переездах свыше 7,2 км/ч - 2 м/с);

г) наши рекомендации на основе приведенных оценок о безопасности проведения сейсморазведочных работ в черте и в окрестностях города Ноябрьска (2001 - 2002 гг.) с применением источников "Енисей КЭМ - 2, СЭМ - 100" полностью подтвердились.

Практика работ с "Енисей КЭМ" вдоль шоссе Красноярск - Енисейск показала, что при установке излучателей "Енисей КЭМ" на асфальт шоссе в процессе 8 - 16 импульсных воздействий полотно дороги не разрушается, каких-либо следов воздействий на асфальте не просматривается. При работе излучателей на задернованных поверхностях (луг, степь) признаков разрушения дерна нет, примятый травяной покров восстанавливается в течение дня (из опыта работ в Хакасии, Актюбинской, Саратовской, Оренбургской областях, Красноярском крае).

Можно однозначно констатировать отсутствие разрушающего воздействия электромагнитных источников "Енисей СЭМ, КЭМ" на коммуникации базы "Геотехноцентра" (водопровод, канализация, тепловая сеть), где до оборудования испытательной площадки пуско-наладочные работы на источниках два года производились у выхода из цеха, в точке пересечения всех трех типов коммуникаций промбазы.

Литература

1. Справочник проектировщика, "Динамический расчет сооружений на специальные воздействия", г. Москва, "Стройиздат", 1981 г.
2. Справочник "Расчет трубопроводов на прочность", А.Г. Камерштейн, В.В. Рождественский и др. "Недра", Москва, 1969 г.

Опыт применения и перспективы развития электромагнитных источников «Енисей»

Республика Хакасия, 15-17 августа 2005 г.

Ежегодный технологический семинар

Проводится с 2001 года

...ют
...физика»,
...геофизика» и
...физическое Общество (EAGO)

...семинара:

- ...
- ...
- ...

Какие возможности понадобятся вам завтра?

Инновационные системы XZone®

для безграничных возможностей сейсморазведки сегодня

СИ Технолоджи, Россия, Краснодарский край, г. Геленджик, ул. Ручейная, д. 6,
т.: (86141) 2-66-15, 2-65-11, факс: (86141) 2-77-01, www.intromarin.ru, si@intromarin.ru