

ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ

ЕЖЕКВАРТАЛЬНОЕ ОФИЦИАЛЬНОЕ ИЗДАНИЕ САРАТОВСКОГО
ОТДЕЛЕНИЯ ЕВРО-АЗИАТСКОГО ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

ЯНВАРЬ-МАРТ

01/2007

ТЕМА НОМЕРА:

И СНОВА О

СЕЙСМО- ПРИЕМНИКАХ

ТАКЖЕ В НОМЕРЕ:

Оптимизация глубины погружения сейсмоисточника
Новые поступления в виртуальный геотехнический музей



15 лет на рынке геофизического оборудования
ИЗВЕСТНОЕ ИМЯ – ИЗВЕСТНЫЕ МАРКИ
ООО «ОЙО-ГЕО ИМПУЛЬС ИНТЕРНЭШНЛ»

Производство и продажа полевого геофизического оборудования

НОВЫЙ СЕЙСМОПРИЕМНИК GS-30 СТ

с нелинейными
искажениями < 0.08
и допусками
параметров $\pm 2\%$

- сейсмоприёмники (геофоны)
- кабельная продукция
- разъёмы
- тестеры
- аксессуары
- сервисные работы
- охранные системы



БУКСИРУЕМЫЕ КОСЫ

с самоориентирующимися
сейсмоприемниками.



РАЗЪЕМЫ ТИПА

KCL, KCK-2,
LCK-2,
GSC-4 (HERMA-4),
РРТ-21.



СЕРВИСНЫЕ РАБОТЫ ПО РЕМОНТУ И ОБСЛУЖИВАНИЮ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

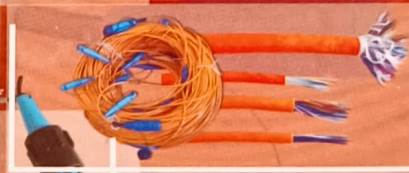
Тестеры и обрыво-
искатели



КАБЕЛЬНАЯ ПРОДУКЦИЯ

-для телеметрических
систем
сбора данных

-для линейных систем
с числом
жил от 2 до 254



Адрес: 450001, Россия, Башкортостан, г.Уфа, ул. Кировоградская, 36
Тел (3472)-25-39-73, факс (3472)-24-73-44.
E-mail: geoimp@ufanet.ru [http:// geoimp.on.ufanet.ru](http://geoimp.on.ufanet.ru)

■ Колонка редактора

Диалектика развития

Турлов П.А.

04

● Тема номера. И снова о сейсмоприемниках

■ Мнение профессионала

Высокое качество сейсмоданных начинается у нас ...

Н.К. Козловский

05

К истории создания ООО «ОЙО-ГЕО Импульс Интернэшнл»

Н.А. Савостьянов

06

■ Мои университеты

Что есть геофон?

А.В. Сталко

09

Сейсмоприемники: история только начинается

С.М. Крылатков, В.И. Бондарев

14

■ Теория

К теории электродинамического сейсмоприемника

А.В. Рыжов

19

■ Приборы и системы

Уфимские сейсмоприемники: параметры, конструкция, надежность

В.И. Зиновьев

25

Повышение производительности наземных кабельных регистрирующих систем

Input/Output

29

Новые изделия ОЙО-ГЕО Импульс

А.А. Качагин

31

Перспективы повышения точностных и сенситивных параметров сейсмоприемников

Ю.П. Петров

32

Цифровой гидроакустический приемник

Б.В. Кияшко, П.И. Коротин, А.С. Чашин, А.В. Харитонов

35

От электродинамического сейсмоприемника скорости к электродинамическому сейсмоприемнику ускорений

А.В. Рыжов, А.К. Хромоин, С.А. Жгенти, Б.В. Запорожец

40

■ Геофизические технологии

Оптимизация технологии проведения сейсморазведочных работ с использованием погружных геофонов

В.А. Детков, П.Ю. Щадин, А.В. Струнов, Ф.В. Сагитов

42

Опыт проведения исследований на нефтегазовых месторождениях с использованием многокомпонентной регистрации сейсмических данных

В.И. Кузнецов, Г.В. Волков, В.З. Кокшаров

45

Критерии оптимальной глубины погружения источника сейсмических колебаний

С.А. Жгенти

54

■ Производство

Эволюция технологии изготовления сейсмоприемников

Р.Т. Сафаров

57

О механической прочности и герметичности групп геофонов

В.И. Дудин

62

Производство кабеля для полевой сейсморазведки

С.Н. Козловский

63

■ Экскурсия

Механический цех – там, где начинается высокое качество сейсмоприемников

И.А. Смирнов

60

СОДЕРЖАНИЕ

Главный редактор
Турлов П.А.

Выпускающий редактор
Пимштейн И.Г.

Менеджер проекта
Мокроусова Е.И.

Верстка
Тарасов В.Н.

Обложка, оформление
Мокроусов Д.В.

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

E-mail: turlov@skbp.ru

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

Тираж отпечатан
в типографии ООО "Формат"
тел.: (845-2) 238-664
Тираж: 500 экз.
Подписано в печать 20.04.07
Дата выпуска 28.04.07
Зак. № 331

Издание зарегистрировано
в Министерстве РФ по делам печати,
телерадиовещания и средств
массовых коммуникаций под 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.

ДИАЛЕКТИКА РАЗВИТИЯ

Турлов П.А., СО ЕАГО, г. Саратов

КОЛОНКА РЕДАКТОРА

Как говорили древние, нельзя дважды войти в одну и ту же реку, поэтому ничтоже сумняшеся, мы решили темой очередного номера сделать разговор о сейсмоприемниках. Редакция обращалась к этой теме в 2002 году во втором номере и уже тогда авторами статей была продемонстрирована высокая степень неравнодушия к проблемам первичных преобразователей, глубокое понимание зависимости результативности итоговых материалов от качества сейсмоприемников. С тех пор прошло более 4х лет и, вероятно, многое должно было измениться в проблемах этого направления. Так и оказалось, и читатель может убедиться в этом сам, детально ознакомившись с материалами этого номера.

Номер открывают и достаточно большое количество журнальных полос занимают материалы единственного производителя геофонов для геофизического рынка России – фирмы «Ойю-Гео Импульс». Мы даже организовали новую журнальную рубрику – «Производственная экскурсия», чтобы читатель, пройдя по цехам этого предприятия, убедился в серьезных функциональных возможностях, в высоком качестве и большой надежности геофонов отечественного производства.

По предложению читателей в этом номере появилась еще одна новая рубрика – «Мои университеты» в которой мы намеряем размещать материалы, позволяющие коротко и просто рассказать о больших и сложных проблемах по избранной теме, рассказать так, чтобы за деревьями не потерять леса.

Не забыты и остальные рубрики, каждая из которых заполнена на наш взгляд интересным материалом. Так что читайте, знакомьтесь, пишите, задавайте вопросы и предлагайте темы для обсуждения и рассмотрения в нашем журнале.

По традиции информирую читателей о темах следующих журналов на 2007 год. В июне должен выйти в свет номер, материалы в который собираются прицельно под тему «Мифы и парадоксы выбросейсморазведки». Журнальные страницы будут открыты не только для экзотики, но и для публикации ваших успешных решений, трудных проблем и результатов их разрешения и даже неудач, чтобы дважды не наступать на одни и те же грабли.

В конце августа, на месяц раньше планового срока мы хотели бы выпустить сентябрьский (№3/2007) номер журнала, чтобы участники Юбилейных – десятых-«Встреч на Волге» смогли стать первыми читателями этого выпуска. Кстати, темы этого номера соответствует «встречам» и звучит так: «Техника и технологии регистрации завтрашнего дня» (наименование темы достаточно условно). Так что желающие предоставить свои материалы на трибуне и выставке «Встреч на Волге» могут абонировать трибуну этого номера журнала для изложения своих взглядов.

И еще одна особенность третьего номера, к которой должны подготовиться читатели: это будет двадцать первый по счету выпуск, т.е. первый во второй пятилетке существования журнала. Изменится дизайн, некоторые идеологические концепции журнала, появится у этого издания и свой сайт. В связи с пятилетним юбилеем я обращаюсь к читателям с большой просьбой – прислать отзывы о журнале, замечания, пожелания и предложения. Мы обязательно их учтем при смене «обстановки в квартире», которую, как известно, рекомендуется выполнять один раз в пять лет.

Наконец, о далеком четвертом номере с темой «Менеджмент в геофизике». Заявитеесь поскорее те, кто хочет принять участие в создании этого номера. Вопросы, которые возникнут в процессе подготовки, могут оказаться исключительно злободневными и достаточно сложными, и редакции должна заранее пригласить для их освещения ведущих специалистов страны.

До новых встреч на страницах журнала!

Всегда Ваш
главный редактор

П.А.Турлов

НАШИ
ПАРТНЕРЫ



ВЫСОКОЕ КАЧЕСТВО СЕЙСМОДАННЫХ НАЧИНАЕТСЯ У НАС...

Интервью генерального директора ООО «ОИО-ГЕО Импульс Интернэшнл» Н.К. КОЗЛОВСКОГО главному редактору журнала «Приборы и системы разведочной геофизики» П.А. ТУРЛОВУ



В настоящее время безусловного лидерства по производству сейсмоприемников в России добилась фирма «ОИО-ГЕО Импульс Интернэшнл». Этот факт побудил редакцию журнала в номере с темой «И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ» уделить большое внимание этой фирме и доверить открытие тематической подборки генеральному директору «ОИО-ГЕО Импульс» Николаю Кирилловичу Козловскому. Ниже приводится запись интервью Н.К. Козловского главному редактору журнала «Приборы и системы разведочной геофизики» П.А. Турлову.

Т. Николай Кириллович, что из себя представляет Ваше предприятие в настоящее время?

К. Нашему предприятию немногим больше 16 лет. Срок для предприятия в общем-то небольшой. Вместе с тем, за данный период сделано немало. В настоящее время предприятие «ОИО-ГЕО Импульс Интернэшнл» - это современный приборостроительный завод, оснащенный передовым технологическим оборудованием. Если сравнивать с тем, что было вначале, то это небо и земля.

Т. А что было вначале?

К. А вначале были скромные по размеру производственные площади, изношенное универсальное металлорежущее оборудование, недостаточная оснащенность тестовым оборудованием, слабая технологическая дисциплина, трудности с обеспечением материалами и комплектующими, недоверие к самой идее совместного предприятия с иностранными партнерами и огромное желание все это преодолеть и стать передовым предприятием в своей отрасли.

Т. Действительно, что Вы сделали?

К. Действительно, сделано немало. Мы существенно увеличили свои производственные площади, осуществили широкую программу технического перевооружения предприятия. Так, только за 2006 г. было приобретено и запущено 20 единиц современного технологического оборудования на общую сумму 29 млн руб., внедрены передовые технологии по металлообработке, гальванопокрытиям, сборке приборов и контролю качества их параметров. Последнее особенно важно, поскольку качеству выпускаемой нами продукции и надежности ее работы мы придаем первостепенное значение.

Т. А какова номенклатура продукции предприятия?

К. Основной вид выпускаемой продукции - это электродинамические сейсмоприемники моделей: GS-20 DX, GS-30CT, GS-32CT, отвечающих всем требованиям международных стандартов. В 2006 г. было всего реализовано 860 тыс.шт. сейсмоприемников. На 2007 г. поставлена задача изготовить и реализовать свыше 1 млн.шт. сейсмоприемников. Предприятие активно работает и в других направлениях. Так с 1993 г. предприятие разрабатывает и выпускает кабель и готовые секции (косы). В настоящее время мы выпускаем свыше 20 типов кабеля, в том числе и для телеметрических сейсморегистрирующих систем, как российского, так и зарубежного производства. В последние годы освоено производство разъемов КСК-2, LCK-2, KC-17, их модификаций, разъема «Herma-4», а также модифицированных разъемов к телеметрическому кабельным секциям систем I/O и Seceel. Развиваем новое направление - создание охранных комплексов с использованием наших сейсмоприемников и кабеля.

Т. Какое место занимает сейчас техническая деятельность на предприятии?

К. Для нашего предприятия характерно активное отношение к технологиям. Мы стремимся быть на самом острие технологического прогресса и поэтому стараемся использовать в производстве новейшие технологические достижения и особенно в области обеспечения контроля качества продукции. Без этого невозможно обеспечить производство продукции, отвечающей требованиям международных стандартов. Мы также успешно проводим совместные работы с рядом геофизических предприятий России по созданию новых образцов геофизического оборудования.

Т. Заканчивая наше интервью, что Вы пожелали нашим читателям?

К. Прежде всего здоровья и успехов во всех начинаниях. А Вашему журналу я желаю быть катализатором взаимодействия геофизических компаний и поставщиков оборудования в России и за рубежом.

И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ...
МНЕНИЕ ПРОФЕССИОНАЛА



Разговор продолжает очевидец и участник событий по организации массового производства отечественных сейсмоприемников - президент Евро-Азиатского геофизического общества Николай Андреевич Савостьянов.

Заметки очевидца

К истории создания ООО «ОЙО – ГЕО Импульс Интернэшнл»

Н.А.Савостьянов – ЕАГО, г. Москва

В настоящее время ведущей компанией в России и странах ближнего зарубежья по производству сейсмоприемников (геофонов) является ООО «ОЙО–ГЕО Импульс Интернэшнл» в г. Уфе (Башкортостан), основной кадровый состав которого составляют российские приборостроители, а контрольный пакет акций принадлежит корпорации «ОЙО – ГеоСпейс» (США). История создания ООО «ОЙО–ГЕО Импульс Интернэшнл» интересна, как пример успешного сотрудничества западных (США) и восточных (Япония) компаний – производителей геофизической техники с одной стороны и российских приборостроителей – с другой.

На протяжении почти 15 лет мне довелось близко узнать деятельность компании ООО «ОЙО–ГЕО Импульс Интернэшнл», быть свидетелем её бурного развития и даже принимать непосредственное участие в работе и решении ряда важных вопросов на Совете директоров компании, будучи членом этого Совета с 1994 г. Поэтому в статье есть подзаголовки – заметки очевидца.

Начало совместной деятельности российских и зарубежных специалистов по организации производства специальной геофизической аппаратуры и, прежде всего, сейсмоприемников, относится к концу 1990 г., когда из США и Японии по приглашению руководства Уфимского производственного объединения «Геофизприбор» в г. Уфу прибыла группа зарубежных специалистов для рассмотрения возможности создания в России совместного предприятия по производству современных сейсмоприемников. Приглашение было вызвано необходимостью коренного переоборудования производства сейсмоприемников на УПО «Геофизприбор», где они производились ещё

с конца 50-х годов и имели более чем скромные технические параметры по сравнению с западными. Уровень производства был технически низким, несмотря на наличие поточной линии, автоматизация была минимальной, а контроль за качеством продукции ниже всякой критики. Я смог в этом лично убедиться, когда в начале 80-х годов посетил уфимский приборостроительный завод «Геофизприбор» во время моей служебной командировки в Башкирию, будучи тогда начальником Главнефтегеофизики Миннефтепрома. Конечно, в то время трудно было требовать высококачественную продукцию от геофизиков – приборостроителей, которые не имели необходимого станочного оборудования, нужных качественных материалов и комплектующих деталей, аппаратуры по контролю качества.

С началом перестройки появились реальные возможности с помощью зарубежных партнеров коренным образом изменить эту ситуацию к лучшему с привлечением их более современных технологий производства и инвестиций.

Итак, в 1990 г. президент американской корпорации «ОЙО – ГеоСпейс» г-н Эрнест Холл, один из владельцев этой компании г-н Сатору Ойя, а также представитель японской торговой фирмы «Чори» г-н Хироси Ямомото прибыли в Уфу с группой своих коллег. Будучи в это же время в командировке во ВНИИнефтепрогеофизике, я был приглашен директором института В.В.Лаптевым на один из обедов, устроенных в честь гостей генеральным директором «Геофизприбора» В.И.Романовичем. Я познакомился с приезжими, которые произвели на меня весьма благоприятное впечатление. Прежде всего, оба руководителя корпорации оказались профессионалами – геофизиками высокого класса, а не

просто дельцами, которые в начале перестройки налом повалили в Россию. Г-н Эрнест Холл известен в геофизическом мире как один из ведущих конструкторов США в области прежде всего сейсмоприемников, обладатель патентов на геофизическую технику, создатель многих типов электродинамических геофонов. Г-н Сатору Ойя возглавлял наиболее крупную инженерию — геофизическую японскую компанию и наряду с блестящими знаниями в этой области оказался мудрым, эрудированным знатоком в ведении приборостроительного бизнеса. В последующие годы моего общения с Э.Холлом и С.Ойя я убедился в правильности первого впечатления от встречи с этими замечательными людьми. Более того, наши деловые отношения вскоре переросли в дружеские, а г-н Холл просил называть его просто Эрнест, именем, под которым он был хорошо известен во всем геофизическом мире. По моему убеждению именно эти два человека сыграли определяющую роль в создании в России совместного российско-американско-японского предприятия по производству сейсмоприемников (СП), вложив в него как свои знания, так и инвестиции, первоначально обеспечив СП необходимым контрольным и частично станочным оборудованием для производства сейсмоприемников в УПО «Геофизприбор». Итак, в декабре 1990 г. было подписано соглашение между российским уфимским производственным объединением «Геофизприбор» (г. Уфа, Башкортостан), американской корпорацией «ОИО — ГеоСпейс» и японской компанией «Чори». Было создано совместное предприятие по производству сейсмических приемников (геофонов). Была достигнута договоренность о выпуске на СП американских сейсмоприемников GS — 20 DX. Доли первоначального капитала, вложенного в создание СП, распределялись следующим образом: российская — 53%, американская — 42%, японская — 5%. Доля российского участия выражалась в предоставлении СП служебных, рабочих и складских помещений, а также технологического и станочного оборудования. Американская сторона передала в СП полную технологию производства геофонов GS — 20 DX и некоторое технологическое, прежде всего контрольно-тестирующее оборудование. Японская компания «Чори» вложила в СП долю своих инвестиций.

Российскую сторону в Совете директоров СП в начале его образования представлял генеральный директор «Геофизприбора» Виктор Игнатьевич Романович — человек энергичный, инициативный, стремившийся создать в своей организации современное производство геофизической техники. При комплектовании СП научно-техническими кадрами он сделал ставку на привлечение молодых, активных, толковых прибористов, работавших на различных уфимских предприятиях, а также своих специалистов завода «Геофизприбор». Так в СП появился Николай Александрович Лютов, ранее работавший на уфимском приборостроительном заводе и ставший вскоре директором СП, с уфимского моторостроительного объединения пришел в СП Николай Кириллович Козловский в роли заместителя по производству. Дело закрутилось. Уже в 1991 г. американцы передали СП технологию производства своих геофонов, помогли смонтировать контрольно-тестирующее оборудование. В июне 1992 г. СП были получены сертификаты качества и право на серийное производство сейсмоприемников GS — 20 DX от американской

корпорации «ОИО — ГеоСпейс».

Очень важным, особенно в первые годы работы, было наладить четкую и постоянную взаимосвязь между российскими специалистами, обеспечивающими изготовление и выпуск аппаратуры по американской технологии, и американскими производителями и разработчиками геофонов GS — 20 DX. Все ведущие российские инженеры — технические работники СП прошли подготовку в США в компании «ОИО — ГеоСпейс». Здесь же проходили регулярное обучение рабочие основных специальностей. Кроме того, ведущие специалисты фирмы «ОИО — ГеоСпейс» постоянно приезжали в Уфу для координации совместной деятельности и решения технических вопросов. Так обеспечивался высокий уровень как подготовки кадров, так и качества выпускаемой продукции.

В результате успешной деятельности СП по выпуску современных геофонов рынок сбыта GS — 20 DX в России постоянно рос, востребованность в качественной продукции СП была высокой.

Однако, во второй половине 90-х годов в работе СП начались трудности, вызванные с одной стороны снижением спроса у заказчиков геофонов, снижалась цена на нефть, близился дефолт (падали объемы сейсморазведки), с другой — необходимостью постоянного обновления технологического оборудования по производству геофонов, что требовало немалых инвестиций. В результате, Совет директоров СП обратился с просьбой к соучредителям СП о предоставлении кредитов для поддержания производства на надлежащем уровне. Кредиты были выделены лишь американской стороной. К сожалению, никто из российских инвесторов не откликнулся тогда на просьбы о выделении кредитов, не веря, по-видимому, в будущее СП. А главный соучредитель СП — НПО «Геофизприбор» — находился в финансовой «луже», особенно после ухода с должности генерального директора В.И.Романовича.

К этому же времени относятся и кадровые изменения в руководстве СП. В 1996 г. ушел в отставку по собственной просьбе директор СП Н.А.Лютов. Его заменил Н.К.Козловский. В 1997г. вместо ушедшего по возрасту президента корпорации «ОИО — ГеоСпейс» Э.Холла эту должность занял энергичный, деловой Гэри Оуэнс, ставший вскоре председателем Совета директоров СП. Он оказался очень предприимчивым и умелым менеджером. С его приходом произошло преобразование СП, ставшего устаревшей формой сотрудничества, в ООО «ОИО-ГЕО Импульс Интернэшнл». В этом преобразовании с российской стороны активную и порой определяющую роль сыграл Николай Кириллович Козловский. В 2000 г. ООО «ОИО-ГЕО Импульс Интернэшнл» было зарегистрировано в государственных органах Башкортостана. Генеральным директором ООО на Совете директоров был утвержден Н.К.Козловский, который возглавляет его и сегодня. Естественно, что с образованием ООО бывшие соучредители стали его главными акционерами. Однако, доли их участия существенно изменились за эти годы. Постоянные инвестиционные вливания в СП, а затем в ООО с американской стороны увеличили их процент акций до 88% (включая 5% акций компании «Чори»), обеспечив им контрольный пакет. Финансово немощный «Геофизприбор» остался с 12%. А к 2005 г., после того, как в 2002 г. «ОИО — ГеоСпейс» кредитовал для

И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ... МНЕНИЕ ПРОФЕССИОНАЛА

ООО в г. Уфе приобретение нового корпуса бывшего оборонного предприятия «Спутник» стоимостью 1,4 млн. долларов США и выкупила 12% акций у УПО «Геофизприбор», американская компания стала 100% обладателем акций ООО «ОЙО-ГЕО Импульс Интернэшнл».

Таким образом, в Башкортостане, в г. Уфе успешно работает российско – американское ООО «ОЙО-ГЕО Импульс Интернэшнл» с российским инженерно-техническим персоналом, полностью принадлежа американскому капиталу. Мое мнение – подобный альянс плодотворен, поскольку взаимовыгоден. Российская сторона получает высокие налоги от деятельности ООО, работающие в нем специалисты имеют хорошую зарплату и условия работы, российское руководство ООО имеет достаточную степень свободы при решении вопросов производства. Американская сторона – собственник ООО, сегодня обеспечивает инвестиции для производства новых приборов и технологий, а также финансовый и отчасти технологический контроль за его деятельностью. Сегодня 45% выпускаемых компаниями «ОЙО-ГЕО Импульс Интернэшнл» геофонов получает и реализует за рубежом американская компания «ОЙО – ГеоСпейс», 55% продукции идет на российский рынок. На отечественном рынке доля продукции ООО «ОЙО-ГЕО Импульс Интернэшнл» - 75%, 15% принадлежит китайским приборостроителям, работающим в альянсе с французской компанией «Серсель», 10% - западной компании «Сенсор» в содружестве с американской - «Инпут – Аутпут». Конкуренты предлагают новые модификации сейсмоприемников, которые хотя и имеют некоторые преимущества перед электродинамическими GS – 20 DX и более совершенными GS – 32 CT и GS – 30 CT, но существенно уступают им в цене.

В советское время, когда объемы сейсморазведки были значительно большими (до 200 тыс. пог. км сейсмопрофилей в год) сейсморайтин испытывали постоянный дефицит в сейсморайтинниках, ежегодный выпуск которых достигал 1 млн. штук. Это были приборы с низкими техническими характеристиками и несовершенной конструкцией. В настоящее время ООО «ОЙО-ГЕО Импульс» производит качественные, надежные сейсморайтинники в еще больших объемах – в 2007г. объем их производства планируется довести до 1200 тыс. штук. Они востребованы потребителем, поскольку отвечают практически всем основным их требованиям. В планах ООО расширение номенклатуры производства геофизической техники, кабельного производства для разведочной геофизики, диверсификация производства. Фундамент для этого в виде квалифицированного персонала, отличных рабочих помещений, делового настроя российских руководителей «ОЙО-ГЕО Импульс» имеется. Многие в реализации этих планов будет зависеть от американской стороны, которая настроена расширять и укреплять производство геофизической техники в г. Уфе. Проектируется строительство нового четырехэтажного корпуса площадью 10 тыс. кв. км под новые изделия для сейсморазведки.

В заключение выражаю надежду на дальнейший рост объемов и повышение качества выпускаемой продукции ООО «ОЙО-ГЕО Импульс». Важно не потерять набранных темпов, расширять рынок сбыта, более активно выходить со своей продукцией на международные деловые контакты, что, кстати, уже и делается. В настоящее время «ОЙО-ГЕО Импульс» подписан контракт на изготовление большого количества сейсмогрупп (с геофонами GS – 32 CT) для геофизиков Индии.

Корпорация «ОЙО ГеоСпейс».

Корпорация ОЙО ГеоСпейс занимается разработкой, изготовлением и монтажом сейсмического оборудования и приборов, предназначенных для разведочных работ и мониторинга месторождений. Она также выпускает кабельную продукцию, включая морские кабели и оборудование для получения

термопечатных изображений для текстильной промышленности. Деятельность по направлениям сосредоточена в четырех компаниях, входящих в состав Корпорации: ГеоСпейс Текнолоджис, ГеоСпейс Инжиниринг Ресорсес Интернэшнл, ГеоСпейс Оффшор и ОЙО Инструментс.

В своей нынешней организационной форме ОЙО ГеоСпейс существует с 1994 года, но работает в области сейсмической аппаратуры и оборудования с 1980 года. Основная часть произведенных изделий поставляется предприятиям нефтяной и газовой промышленности во всем мире.

Штаб – квартира ОЙО ГеоСпейс расположена в г.Хьюстон, штат Техас, США. Корпорация имеет филиалы в Канаде,

Китае, России и Великобритании.

Филиал в России – это предприятие ООО «ОЙО-ГЕО Импульс Интернэшнл» (г.Уфа).

Выписка из доклада Президента корпорации ОЙО ГеоСпейс Гэри Оуэнса при подведении итогов работы корпорации за 2006 год:

«Наше российское производство в Уфе, РБ, продолжает расти. В течение 2006 финансового года мы запустили там кабельное производство для обеспечения сейсмическими кабелями наших российских заказчиков – производителей сейсморайтин. Наше российское дочернее предприятие отлично поработало в 2006 финансовом году, произведя рекордное количество геофонов, которые поставлялись как нашим заказчикам в России, так и на наше производство в Хьюстоне, которое работает на свою полную мощность. В связи с таким ростом нашего производства в России и с учетом запуска в Уфе в ближайшие годы новых линий наших изделий, мы приступили к осуществлению плана расширения существующего уфимского завода. Стоимость расширения будет составлять примерно 5,0 миллиона долларов. Завершение строительства нового корпуса площадью 10.000 м² по прогнозам ожидается к концу 2007 календарного года».

Генеральный директор
ООО «ОЙО-ГЕО Импульс Интернэшнл»

Н.К. Козловский

Рассматриваются геофоны (иначе — сейсмоприёмники), в основном с метрологической точки зрения — как измерительные преобразователи механического сигнала в электрический. Параллельно обсуждаются некоторые терминологические вопросы, касающиеся геофонов.

*Щёлкни кобылу в нос —
она махнёт хвостом.
К. Прутков*

Сейсмический канал, как объект метрологического обеспечения, состоит из следующих элементов: геофон — линия связи — сейсмостанция.

Сразу немного о терминологии. В нашей литературе в основном используется термин "сейсмоприёмник", в англоязычной — seismometer, seismograph, seis, но чаще всего — geophone. Последнее время и в отечественной литературе используется краткий и точный термин "геофон". Он передаёт основной смысл понятия: и то, что исследуется Земля, и то, что исследования проводятся в звуковом диапазоне частот, что хорошо согласуется с такими терминами, как "геология", "геофизическая разведка". В морской геофизике аналогичный по назначению датчик именуется "гидрофон". Учитывая стремление гармонизировать нашу терминологию с зарубежной, далее используется термин "геофон".

Геофон является первичным аналоговым измерительным преобразователем сейсмических колебаний в электрический сигнал. В наземной сейсморазведке преимущественно используются электродинамические геофоны. Это обусловлено простотой конструкции, высокой чувствительностью, надёжностью и механической прочностью (последнее немаловажно: автор был свидетелем, как геофоны устанавливаются на плотный грунт чуть ли не с помощью кувалды!). Так как рассматриваются только геофоны этого типа, далее описание "электродинамический" опускается. Устройство геофонов хорошо всем известно, и мы на нём останавливаться не будем. Обсуждаются только вертикальные геофоны, т. к. горизонтальные приборы ничем существенно не отличаются, за очевидным исключением иного влияния силы тяжести.

Рассмотрим преобразование геофоном механических колебаний в электрический сигнал, в основном используя физику явлений, с минимумом теории. Хотя эти явления не один раз описаны, повторим основные положения, чтобы попутно отметить некоторые немаловажные нюансы. Для определённости количественные характеристики приводятся для приборов типа СВ-10Ц.

При воздействии сейсмического сигнала на корпус геофона груз (катушка) перемещается относительно магнитной системы. В сигнальной обмотке катушки возникает ЭДС

$$e = B \cdot l \cdot v = \pi d_{\text{ср}} \omega \cdot v = K \cdot v, \quad (1)$$

где B — среднее значение магнитной индукции в зазоре,

l — общая длина проводника в обмотке,

v — скорость смещения катушки относительно корпуса,

$d_{\text{ср}}$ — средний диаметр витка,

ω — число витков обмотки,

K — коэффициент преобразования.

Таким образом, если у нас есть выражение для скорости груза, то для перехода к электрическому напряжению его достаточно умножить на коэффициент преобразования K . Поэтому далее рассматривается только скорость груза относительно корпуса геофона.

Обычно предполагается, что индукция в зазоре постоянна, но это не так. Вблизи границ полюсных наконечников поле заметно искажается. Согласно А.В. Рыжову [7], именно неоднородность магнитного поля является основным источником нелинейности геофона. Это означает, что, вообще говоря, коэффициент преобразования не является постоянным, а зависит от положения груза в магнитном зазоре. Но на практике полагают $K = \text{const}$, а нелинейность рассматривают как один из видов погрешностей.

У катушки есть электрические параметры: омическое сопротивление, индуктивности, межвитковая ёмкость. Ёмкость катушки — порядка десятков пикофард — не оказывает на работу геофона никакого заметного действия. Примерное значение индуктивности катушки для приборов типа СВ-10Ц составляет 0,06 Гн. В [9] показано, что влияние индуктивности начинает сказываться на частотах порядка 300 — 500 Гц, лежащих вне рабочей полосы геофона. Поэтому, рассматривая далее механическое воздействие на геофон, н ёмкостью, и индуктивностью обмотки пренебрежём.

Примечание. Очевидно, что при рассмотрении электрических методов исследования геофонов индуктивностью пренебрегать нельзя, но в данной статье такие методы не рассматриваются.

Составим уравнение движения геофона. И в этом несложном деле есть моменты, на которые следует обратить внимание.

Предположим, что вертикальный геофон жёстко связан с грунтом (или — в лаборатории — со столом вибростенда), движущимся с ускорением ξ . Под воздействием силы инерции груз

двигается относительно корпуса с ускорением x .

Полное ускорение груза, очевидно, равно $\ddot{x} + \ddot{\xi}$, если оси Ox и $O\xi$ направлены в одну сторону, и $\ddot{x} - \ddot{\xi}$ — если оси направлены противоположно.

Остановимся на последнем варианте. На груз действует сила упругости пружины, механическое сопротивление, направленные в сторону, противоположную смещению x , и сила тяжести, направленная по оси Ox . Следовательно, уравнение движения груза имеет вид:

$$m(\ddot{x} - \ddot{\xi}) + H\dot{x} + Cx = mg \quad (2)$$

И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ...
МОИ УНИВЕРСИТЕТЫ

где H – коэффициент сопротивления, C – коэффициент жесткости пружины.

Подчеркнем, что все члены данного уравнения представляют собой некоторые силы.

В [9] показано, как сила тяжести влияет при наклоне прибора: уменьшается выходной сигнал и в общем случае возрастает нелинейность. Так как в рабочем положении вертикального геофона сила тяжести компенсируется начальным прогибом пружины, в данной статье влияние силы тяжести не рассматривается.

Обычно переходят к удельным силам, т. е. силам, отнесенным к единице массы, и после элементарных преобразований уравнение приобретает привычный вид:

$$\ddot{x} + 2\beta_0\omega_0\dot{x} + \omega_0^2x = \xi \quad (3)$$

где $\beta_0 = H/2\omega_0 m$ – коэффициент демпфирования,

$\omega_0 = \sqrt{C/m}$ – собственная угловая частота. На практике обычно используется циклическая собственная частота $f_0 = \omega_0/2\pi$.

И снова о терминологии. В ГОСТ 16821 [4] параметр β , характеризующий потери энергии при колебаниях, именуется "степень затухания". Однако для этого параметра ГОСТ 24346 [5] устанавливает термин "относительное демпфирование", ГОСТ 8.009 [1] – "коэффициент демпфирования", а в литературе встречаются также "коэффициент колебательности", "декремент затухания", "коэффициент затухания". В иностранных источниках обычно используется "damping factor" или просто "damping". Опять же с целью гармонизации геофизикам стоит взять термин "коэффициент демпфирования" по ГОСТ 8.009, с возможным сокращением, используя зарубежный опыт, до термина "демфирование".

Рассматривая уравнение (3), легко увидеть, что при выборе одинакового направления осей Ox и $O\xi$ в правой части появится знак минус. Но никаких существенных преимуществ для теории выбор того или иного варианта не имеет, а с учётом того, что у большинства геофонов выход симметричный, для практики разница вообще отсутствует.

Часто говорят (и автор настоящей статьи не исключение), что в правой части уравнения (3) стоит ускорение. И это справедливо во внешней системе координат. Но в системе координат, связанной с корпусом геофона мы видим только, что на груз действует некоторая сила, и уже отметили, что уравнение (2) составлено именно для сил. Оттого, что мы поделили все члены уравнения на константу m , силы не исчезли, следовательно, правая часть представляет собой удельную силу, численно равную ускорению. Важность данного замечания будет очевидна далее при изложении вопроса об электромагнитном демпфировании груза геофона.

Для анализа удобно использовать не уравнение, а передаточную функцию. Используя символический метод и представляя оператор производной $d/dt = p$, получим передаточную функцию геофона для смещения груза относительно корпуса

$$X(p) = \frac{1}{p^2 + 2\beta_0\omega_0 p + \omega_0^2} \quad (4)$$

и для скорости

$$\Phi_v(p) = \frac{p}{p^2 + 2\beta_0\omega_0 p + \omega_0^2} \quad (5)$$

Передаточные функции (4, 5) справедливы для случая, когда на входе удельная сила. В геофизике принято использовать передаточную функцию

$$U(p) = \frac{p^2}{p^2 + 2\beta_0\omega_0 p + \omega_0^2} \quad (6)$$

считая, что на входе – скорость смещения. Но точно так же, как для (5) на входе действует удельная сила, для (6) на входе не скорость, а удельный импульс силы (или удельное количество движения). Таким образом,

мы говорим "ускорение" – подразумеваем "удельная сила".

мы говорим "скорость" – подразумеваем "удельный импульс силы".

Небольшое пояснение относительно (6). Если на входе геофона не удельная сила ξ , а удельный импульс ξ , представляющий собой интеграл от удельной силы, то передаточная функция (5) справедлива не для скорости, а для смещения груза. Чтобы получить на выходе сигнал, пропорциональный скорости, следует передаточную функцию (5) умножить на оператор p .

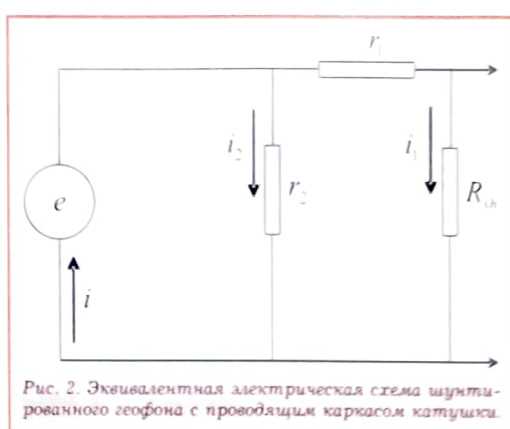
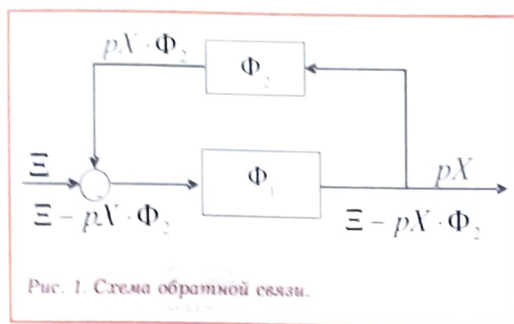
В уравнениях (2, 3) учитывается только механическое демпфирование: влияние воздуха, внутреннего трения в пружинах и т.п. Но это демпфирование невелико, коэффициент β_0 вряд ли превосходит 0,1. С целью увеличения демпфирования каркас катушки делают проводящим. В этом случае его можно рассматривать как короткозамкнутый виток, а совокупность каркаса и сигнальной обмотки – как трансформатор. В теории трансформаторов принято для упрощения всех выкладок и построения эквивалентных схем пересчитывать параметры вторичной обмотки в первичную. Мы поступим так же, пересчитав ЭДС, ток в каркасе и сопротивление каркаса в сигнальную обмотку. Для этого, очевидно, ЭДС следует умножить, ток разделить на число витков, сопротивление же каркаса умножить на квадрат числа витков сигнальной обмотки (как уже говорилось, индуктивностью мы пренебрегаем). Далее используются пересчитанные параметры и соответствующую оговорку не делается.

Сначала рассмотрим физику влияния проводящего каркаса. При движении груза относительно магнитной системы в каркасе наводится пропорциональная скорости ЭДС, равная e в уравнении (1). Под действием ЭДС в каркасе потечёт ток, который при взаимодействии с магнитным полем вызовет появление силы, препятствующей движению катушки.

Выражение для этой силы легко найти по рассматриваемым физическим процессам. Ток в каркасе $i_2 = e/r_2$, где r_2 – сопротивление каркаса. Сила, действующая на груз,

$$F_2 = K \cdot i_2 = K \cdot e / r_2 = \frac{K^2}{r_2} v \quad (7)$$

Так как эта сила пропорциональна скорости, то её воздействие равносильно увеличению демпфирования, что и требовалось получить. Используя терминологию теории автоматического регулирования (ТАР), можно сказать, что каркас вносит отрицательную обратную связь. На рис. 1 изображены прямая связь – преобразо-



вание силы в скорость груза и обратная связь – преобразование скорости груза в силу. Так как операции проводятся с символьными переменными, для их обозначения использованы прописные буквы.

Передающую функцию (а в нашем случае – просто коэффициент) обратной связи найдем из (7). Вот здесь нам и понадобится вспомнить, что мы перешли к удельным силам: коэффициент при скорости в (7) следует разделить на значение массы груза. Окончательно коэффициент обратной связи

$$\Phi_2 = \frac{K^2}{m \cdot r_2} \quad (8)$$

и передаточная функция для геофона с проводящим каркасом по известной формуле ТАР (эту формулу легко получить, используя рис. 1):

$$\Phi(p) = \frac{\Phi_1(p)}{1 + \Phi_1(p) \cdot \Phi_2} \quad (9)$$

если на входе сила, и

$$V(p) = \frac{U(p)}{1 + U(p) \cdot \Phi_2} = p \cdot \Phi(p) \quad (10)$$

если на входе импульс силы.

Точно такое же влияние оказывает и шунтирование геофона. На рис. 2 показана эквивалентная схема прибора с проводящим каркасом и шунтирующим сопротивлением R_{sh} . Очевидно, что общий ток равен $i = e/R_{sum}$, причём суммарное сопротивление равно параллельному соединению сопротивлений r_2 и $r_1 + R_{sh}$:

$$R_{sum} = \frac{(r_1 + R_{sh}) \cdot r_2}{r_1 + r_2 + R_{sh}} \quad (11)$$

Функции (8, 9) сохраняют свой вид, только в выражении для Φ_2 сопротивление r_2 надо заменить на R_{sum} . Если же рассматривать значение напряжения на выходе геофона, то надо ещё

заменить K на $K \cdot \frac{r_2 \cdot R_{sh}}{r_2 + R_{sh}}$.

В рабочей полосе частот функция (10) практически совпадает с функцией вида (6), у которой коэффициент демпфирования β_0 заменён на

$$\beta = \beta_0 + \frac{K^2}{2\omega m R_{sum}} \quad \text{где вторая составляющая}$$

обусловлена влиянием шунта и проводящего каркаса.

На рис. 3 показаны модуль и аргумент комплексной функции (10), т. е. амплитудно-частотная и фазово-частотная характеристики (АЧХ и ФЧХ), для шунтированного геофона с проводящим каркасом. Видно, что гармоники входного сигнала подавляются тем больше, чем ниже частота, т. е. прибор в данном случае представляет собой фильтр верхних частот.

Вообще заметим, что, вопреки мнению в [8], любое средство измерений искажает входной сигнал, и задача исследователя – выбрать средство измерений такое, чтобы искажения существенным для данного эксперимента образом не влияли на результат исследования.

В некоторых случаях возможно частичное восстановление искажённого сигнала с помощью операции, хорошо знакомой сейсморазведчикам под термином "деконволюция".

И ещё раз о терминологии. Вместо термина "деконволюция" ГОСТ 16821 [4] рекомендует не слишком удачный термин "обратная фильтрация". Встречается в литературе также термин "обратная свёртка" (т. к. в математике convolution – свёртка). По мнению автора, оба эти термина не слишком удачны. Возможно, что наилучшим является точный по смыслу термин "восстановление сигнала", широко используемый в морской гравиметрии.

Первичное назначение деконволюции – восстановление сигнала (хотя бы приближённое) после его искажения какой-либо линейной системой. Деконволюция выполняется фильтром, частотные характеристики которого обратны частотной характеристике искажающей системы, поэтому необходимы сведения о передаточной функции системы.

Построение таких фильтров не всегда возможно. Так, невозможно в принципе восстановить в сигнале частоты, которые полностью подавлены, а при восстановлении частотных составляющих, ослабленных до уровня шумов, одновременно

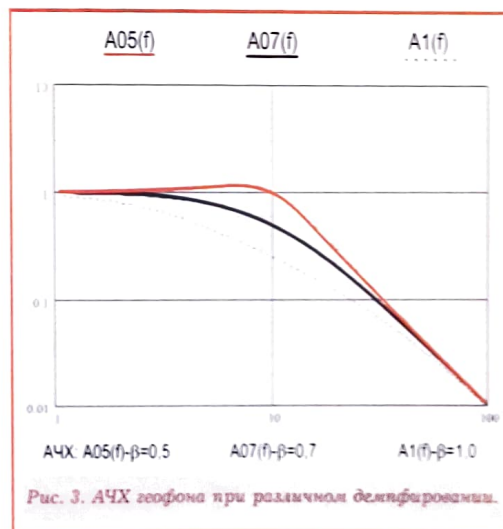


Рис. 3. АЧХ геофона при различных демпфированиях.

И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ... МОН УНИВЕРСИТЕТЫ

происходит значительное усиление дисперсии шума.

Покажем смысл деконволюции на простом примере. Предположим, что мы хотим расширить частотную характеристику геофона, показанную на рис. 3, в область низких частот и ликвидировать резонансный пик в районе собственной частоты. Предположим, что колебательное звено с желаемой частотной характеристикой фильтра Баттерворта должно иметь собственную частоту 5 Гц и коэффициент демпфирования 0,707. На рис. 4 показана страничка вычислений в Mathcad для решения этой задачи. Результирующая передаточная функция W_2 совпадает с желаемой W_1 после применения к исходной функции W корректирующего фильтра Φ^1 .

Во временной области поведение геофона описывается реакцией прибора на сигнал в виде ступени – переходной характеристикой

$$h(t) = \frac{K \cdot \omega_0}{\sqrt{1-\beta^2}} \exp(-\beta\omega_0 t) \sin \sqrt{1-\beta^2} \omega_0 t \quad (11)$$

или реакцией на короткий импульс (δ -функцию) – импульсной переходной характеристикой

$$g(t) = K \exp(-\beta\omega_0 t) \times \left[\cos \sqrt{1-\beta^2} \omega_0 t - \frac{\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} \sin \sqrt{1-\beta^2} \omega_0 t \right] \quad (12)$$

Возникает вопрос, как задать, например, механический импульс. Совершенно очевидно, что нельзя, как рекомендуется в [8], “падение на поверхность (геофона) с примерно 30-сантиметровой высоты 2-мм стального шарика”. При любом импульсном воздействии на корпус геофона мы увидим высокочастотный медленно затухающий процесс, совершенно не похожий на характеристику (12). Это и не удивительно. При подаче импульса на корпус прибора возбуждаются продольные колебания именно корпуса как некоторого стержня (см. любой учебник по уравнениям математической физики). По-

видимому, единственный реальный способ избежать появления ложного колебательного процесса – возбуждать геофон электрическим импульсом, подаваемым на его клеммы.

Но и здесь не всё просто. Особых проблем не возникает, если используются аналоговые средства измерений, например, обычный осциллограф. Но сейчас везде переходят на цифровые методы, а в различных цифровых системах, в том числе и в сейсмостанциях, требуется фильтрация для исключения эффекта наложения спектров при дискретизации входного аналогового сигнала. Этот эффект носит название “alias”, а фильтр для предотвращения эффекта – “alias filter” или “antialias(ing) filter”.

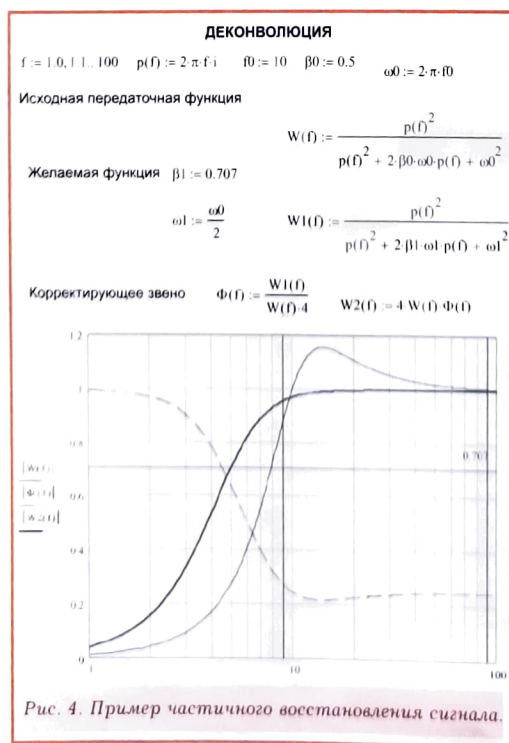
Ещё немного о терминологии. В русской литературе привилось, на наш взгляд, крайне неудачное название “антиалийсинговый фильтр”, что является просто транслитерацией соответствующего английского термина (от antialiasing – подавление помех спектрального наложения). Известно, что существуют фильтры Баттерворта, Эйлера, Чебышева и т.д. Основываясь на этом, автор готов предложить для рассматриваемого фильтра, тоже основанное на имени учёного: для русофилов – “фильтр Котельникова”, для западников – “фильтр Найквиста”.

При импульсном воздействии переходный процесс фильтра Котельникова накладывается на переходный процесс геофона, существенно искажая его начальный участок. Это следует иметь в виду при расчёте параметров геофона по переходному процессу [9].

Рассмотрим такой важный для практики вопрос, как выбор геофона для решения конкретной задачи. Собственная частота определяет рабочий частотный диапазон, в котором искажениями сигнала допустимо пренебречь. Обычно в проспектах указывается, что рабочая полоса частот – от $0,5f_0$ до $25f_0$, поэтому очевидно, что для глубинных исследований следует брать низкочастотные геофоны, а для инженерных – высокочастотные.

Коэффициент демпфирования β можно выбирать из следующих соображений: при $\beta=0,5$ полоса геофона наиболее продвинута в область низких частот (при постоянной f_0 , при $\beta=0,707$ геофон имеет свойства фильтра Баттерворта, т.е. максимально плоскую АЧХ, при $\beta=0,8$ – ФЧХ геофона максимально линейна в области собственной частоты, при $\beta=1$ геофон перестаёт быть колебательным звеном и становится апериодическим звеном 2-го порядка с минимальной длительностью переходного процесса. Здесь следует отметить ошибку в [8], где сказано: “... сейсмоприёмник, который не имеет собственной колебательности, ... гарантирует отсутствие спектральных искажений”. К сожалению, это не так: при $\beta=1$ уже на собственной частоте искажение достигает 6 дБ. Все изложенные оценки подтверждаются практическими измерениями, так что ошибочно ещё одно утверждение в [8]: “Так сложилось, что все описанные в литературе свойства сейсмоприёмников определены не в результате измерений, а путем математической обработки различных мысленных построений”. На самом деле теория геофонов подтверждается реальными измерениями с убедительной точностью.

При значениях $\beta \approx 10$ геофоны специальной конструкции имеют уже характеристики акселе-



рометра, т. е. выходной сигнал пропорционален ускорению.

Геофон как средство измерений нуждается в поверочной схеме. К сожалению, пока специализированная схема не разработана, хотя все научные предпосылки для её создания имеются [10]. Существуют две близкие по назначению схемы: для средств измерений сейсмоколебаний по ГОСТ 8.562 [3] и для измерений вибрации по МИ 2070 [5]. Можно рекомендовать сейсморазведчикам до создания специальной схемы, пользоваться МИ 2070. Использование ГОСТ 8.562 затруднено из-за частотного диапазона, лишь частично совпадающего с используемым в сейсморазведке, и из-за большого числа существенных ошибок в этом документе.

Итак, из всего изложенного следует ответ на вопрос в заголовке статьи:

геофон

— это аналоговый измерительный преобразователь (с точки зрения метрологии);

— это колебательное звено или апериодическое звено 2-го порядка (с точки зрения теории

автоматического регулирования);

— это фильтр верхних частот (с точки зрения теории фильтрации), и, наконец,

— это датчик сейсмических колебаний (с точки зрения геофизики).

Литература

1. ГОСТ 8.00984 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
2. ГОСТ 8.4172002 ГСИ. Единицы величин.
3. ГОСТ 8.56297 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений сейсмоперемещения, сейсмостороности и сейсмосторожения в диапазоне частот 0,0120 Гц.
4. ГОСТ 1682191 Сейсморазведка. Термины и определения.
5. ГОСТ 2434680 Вибрация. Термины и определения.
6. МИ 207090 Рекомендация ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений виброперемещения, виброскорости и виброускорения в диапазоне частот 310-1 2104 Гц.
7. А.В. Рыков. Новый электродинамический сейсмосторопитель ускорений // Приборы и системы разведочной геофизики – 2002 – № 02.
8. А.Г. Глиман. Спектральная сейсморазведка - истоки и следствия // Интернет-сайт <http://www.newgeophys.spb.ru>.
9. А.В. Стакло. Теоретические основы испытаний электродинамических сейсмосторопителей // Приборы и системы разведочной геофизики – 2006 – № 03.
10. А.В. Стакло, В.С. Симмаков. О поверочной схеме для геофонов // Законодательная и прикладная метрология – 2004 – № 4.

У НАШИХ ЗАРУБЕЖНЫХ КОЛЛЕГ

В журнале First Break (Vol.25.№2) опубликована статья «Пора пересмотреть наш подход к 3-С наземным наблюдениям». Автор статьи Bob Heath из компании Ascend Geo (США).

В статье автор анализирует сложившееся в настоящее время в наземной сейсморазведке положение с многокомпонентными наблюдениями и приходит к выводу, что 3-С наблюдения до сих пор остаются незанятой нишей на рынке геофизических услуг. Автор считает, что большие надежды, связанные с использованием MEMS датчиков при выполнении 3-С наземных наблюдений, не оправдались и, более того, по целому ряду причин препятствуют развитию данного вида наблюдений. В статье резкой критике подвергнута политика компаний-производителей MEMS геофонов, фактически стремящихся монополизировать рынок геофизического оборудования, предназначенного для выполнения многокомпонентных наблюдений. Автором выполнен подробный сравнительный анализ технических и коммерческих возможностей 3С MEMS датчиков и аналоговых 3С геофонов. Результатом анализа является вывод о том, что дальнейшее развитие 3-С наземных наблюдений должно быть связано с широким применением аналоговых 3С геофонов, возможно с Vp расстановками геофонов с короткой базой. Что касается сейсморегистрирующих систем, используемых для выполнения 3-С наблюдений, то наибольшие перспективы, по мнению автора, имеют бескабельные телеметрические сейсморегистрирующие системы.

В связи с большим объемом статьи редакция не сочла возможным поместить данную статью в этом, близком по теме, выпуске журнала. Вместе с тем, желающие могут обратиться в редакцию и получить перевод данной статьи на русском языке.



И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ...
МОН УНИВЕРСИТЕТЫ

СЕЙСМОПРИЕМНИКИ: ИСТОРИЯ ТОЛЬКО НАЧИНАЕТСЯ

С.М. Крылатков, В.И. Бондарев, УГГГА, г. Екатеринбург

Первым приемным элементом сейсморегистрирующего тракта является сейсμοприемник - устройство, способное воспринять механические колебания среды и выработать достаточный для регистрации электрический сигнал, адекватный этим механическим колебаниям. От надежной работы сейсμοприемников решающим образом зависит качество получаемых итоговых материалов всех сейсморазведочных работ. Ежегодно в России около 200 сейсморазведочных отрядов, работающих по технологиям 2D и 3D, на сейсморазведочных профилях расставляют около 1,5 - 2 млн. сейсμοприемников. Только для ежегодного восполнения их естественной убыли в силу физического старения при 3 - 5 летнем сроке службы необходимо производство около 300 тыс. штук сейсμοприемников. Отдельные сейсмические партии с мультиканальными системами наблюдений, высоким числом каналов (4 000 и более) и большими группами (например, по 12 приемников) имеют весьма значительные сложности в обращении с огромными массивами сейсμοприемников (порядка 50-100 тысяч). Дополнительно усугубляет эти технические проблемы возрастающий интерес к многокомпонентной регистрации.

А ведь история сейсμοприемников пачиналась еще до возникновения сейсморазведки...

Проборазом современных сейсμοприемников был специальный прибор для записи сейсмологической информации о землетрясениях - сейсμοграф, появившийся в конце XIX века.

На рубеже XIX - XX вв. появляются сейсμοграфы для записи вертикальных смещений почвы с фотоэлектрической регистрацией, а в 1903 году российский академик Б.Б. Голицын создает сейсμοграф уже с гальванической регистрацией, который являлся одной из лучших конструкций данного типа (рис.1) [2].

В дальнейшем сейсмографы непрерывно и многократно улучшались и совершенствовались. Многие из них являлись прототипами для первых сейсμοприемников - новых приборов, которые создавались в начале прошлого века для разведочных целей, а некоторые непосредственно использовались в сейсморазведке. В 1914 году Л.Минтроп получил германский патент на механический сейсмограф "Сейсмос" (рис.2) [5], который стал применяться в сейсморазведке

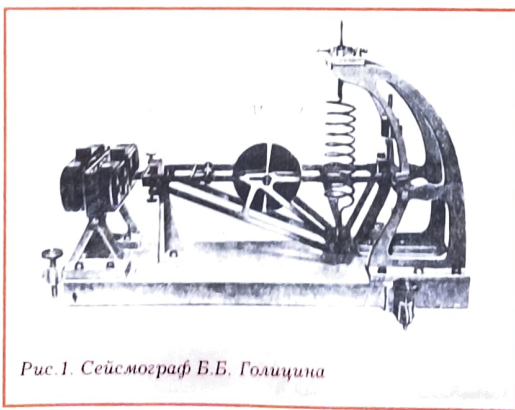


Рис. 1. Сейсмограф Б.Б. Голицына



Рис. 2. Сейсмограф Л. Минтропа

методом преломленных волн. Уже в 1925 году фирма «Джеофизикал рисерч корпорейшн» (Амерада, Карчер, Фессенден) сконструировала электрический сейсмограф электромагнитного типа - более чувствительный, чем механический сейсмограф «Сейсмос» [7]. Однако еще довольно длительное время в сейсморазведке находили применение именно механические сейсмографы Минтропа и Швейдара. В частности, при проведении сейсмической разведки МПВ в СССР в тридцатые годы широко использовался механический сейсмограф Швейдара.

И все-таки эра механических сейсмографов в сейсморазведке уходила в прошлое. Основную роль начинают играть магнитоэлектрические сейсμοприемники. На первом этапе их создания были опробованы самые различные физические принципы преобразования механических колебаний в электрические сигналы. Первые сейсμοприемники были в основном электромагнитного или электродинамического типа. В приемниках электромагнитного типа в поле постоянного магнита могла перемещаться катушка с магнитным сердечником и использовалось масляное или воздушное затухание. В приемниках электродинамического типа в поле постоянного магнита, соединенного с корпусом, передвигалась только легкая катушка и начинал использоваться электромагнитное затухание. Постепенно с появлением более качественных магнитных материалов повышалась чувствительность магнитоэлектрических сейсμοприемников и одновременно уменьшался их вес (с 1,5-2 кг в конце 40-х гг. прошлого века до приблизительно 0,1 кг в конце века) [1].

В конце 30-х гг. в СССР под руководством проф. Г.А. Гамбурцева создаются первые отечественные сейсμοприемники: сначала микрофонного (СМ-4, СМ-5), а затем и электромагнитного типа с масляным и воздушным затуханием. На их основе уже в послевоенные годы в Советском Союзе были начаты разработки сейсμοприемников, как для полевых работ, так и

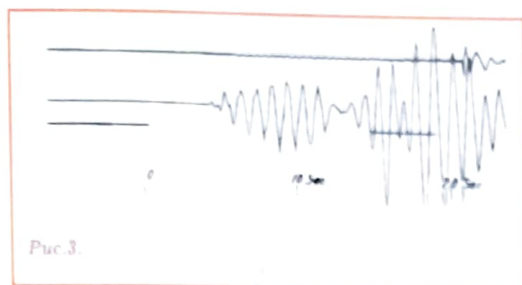


Рис.3.

для сейсмических скважинных наблюдений. В это время Л.К. Шведчиков разрабатывает конструкцию сейсмоприемников электромагнитного типа СП-47 и СП-48. На основе этих приемников были созданы скважинные сейсмоприемники СИС-47 и СИС-49. В начале 50-х гг. Шведчиков же конструирует сейсмоприемники электродинамического типа (СПЭД-52 и СЭДС). По весовым характеристикам и габаритам, к сожалению, они почти не отличались от СП-48. Несколько позже Ленинградский завод "Геологоразведка" разработал сейсмоприемники серии СП-15, СПМ-15, СП-16, СПМ-16 (автор Королев В.М.), имеющие существенно меньший вес, небольшие размеры, систему электромагнитного затухания и чрезвычайно простое устройство. В эти же годы был начат выпуск сейсмоприемников типа СПЭД-5, имевший сравнительно малые габариты и придававшийся к переносным сейсморазведочным станциям типа СС-24П. Был разработан приемник СПЭН-1, который имел низкую собственную частоту 10 Гц и предназначался для проведения работ методом КМПВ. Внешний вид некоторых сейсмоприемников этого периода показан на рис.4.

Начиная с конца шестидесятих годов прошлого века преобладающим типом сейсмоприемников (для работ на суше) стали сейсмоприемники электродинамического типа, в которых преобразование механических колебаний в электрические происходит в результате явления индукции при движении катушки между полюсами магнитов в зазоре постоянной величины.

В это время основными целями совершенствования сейсмоприемников стало уменьшение их веса и повышение надежности работы. Особенно актуальной была задача снижения веса, поскольку в сейсморазведке начался переход от применения метода КМПВ к конвейерным технологиям МОВ и МОВ-ОГТ с обязательным применением группирования сейсмоприемников. Это заставляло использовать на профиле одновременно большое количество сейсмоприемников, что непременно требовало их миниатюризации. В это время отечественная промышленность выпуска-



Рис.4. Отечественные сейсмоприемники 50-х, 60-х годов 20 века

ла сейсмоприемники для регистрации вертикальных компонент поля H и E и для регистрации горизонтальных компонент E и H .

Для получения информации о полном векторе смещения грунта создаются трехкомпонентные сейсмоприемники. Такой сейсмоприемник состоит либо из объединенных в одном корпусе одного вертикального и двух горизонтальных сейсмоприемников, либо трех отдельных приемников, оси наибольшей чувствительности которых взаимно перпендикулярны и наклонены под углом 45° к горизонту.

При проведении интегрального сейсмического картирования или вертикального сейсмического профилирования начинают применять термостойкие, а также приспособленные работать в условиях высоких давлений одно- или трехкомпонентные электродинамические сейсмоприемники, которые размещаются в специальном герметизированном корпусе скважинного фонда. Трехкомпонентные сейсмоприемники могут размещаться в самоориентирующемся карданном подвесе.

Вплоть до начала 90-х гг. в Советском Союзе на заводах в г. Барнауле, Баку и Уфе выпускался широкий спектр сейсмоприемников для работ по методам МОВ, КМПВ, ГСЗ и скважинных работ.

Завоевав сушу, сейсмоприемники опустились в воду. При морских сейсморазведочных работах применяются сейсмоприемники, построенные на ином, чем электромагнитная индукция, принципе преобразования механической энергии в электрическую. Используется, так называемый, пьезоэлектрический эффект. Если к керамическому элементу из титаната бария приложить внешнее давление, то между гранями, к которым оно приложено, возникает э.д.с., пропорциональная приложенному давлению. Такие сейсмические датчики имеют малые размеры 2-3 см и вес до 100 г. Пьезоэлектрические приемники помещают в хлорвиниловый шланг - косу (стример) сечением 40-50 мм, заполняемый специальной жидкостью для придания почти нейтральной плавучести. Возможность непрерывной буксировки судном такой косы на некоторой глубине под водой и приема на ходу сейсмических колебаний позволяет достичь огромной производительности сейсморазведочных работ на море. В другой модификации, когда работы проводятся на дне моря (OBC - ocean bottom cable), используют специальные приемники электродинамического типа, рассчитанные на работу в воде при давлении соответствующем глубинам в 200-300 м, вместе с датчиками давления - гидрофонами в одном корпусе.

В последние 10-15 лет внимание разработчиков сейсмоприемников было уделено таким важным элементам сейсмоприемника, как разъемы или соединители для подключения, как одиночного сейсмоприемника, так и их группы к сейсмической косе. Если использовались ранее разъемы представляли собой простейшие по конструкции пружины, зажимы, клипсы и т.п., то в настоящее время сложилась определенная унифицированная система герметичных соединительных устройств, входящих в состав так называемых сейсмических аксессуаров.

Для достижения надежности сейсмоприемников на заводах производителей сейсмического оборудования перед отгрузкой с предприятия проводятся испытания каждого сейсмоприемника на соответствие техническим спецификациям.

В 90-е гг. на XX века в отечественную сейсморазведку интенсивно внедряются западные

И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ...
МОИ УНИВЕРСИТЕТЫ!

технологии. В связи с этим на базе одного из крупнейших заводов России по производству сейсмической аппаратуры в г. Уфе в 1990 году создается Российско-американско-японское совместное предприятие "ОЮ-Гео Импульс". На нем налажен лицензионный выпуск ряда моделей сейсμοприемников в количествах, обеспечивающих потребности внутреннего и, частично, западного рынка.

Кроме сейсμοприемников названного выше отечественного предприятия, в России применение находят аналогичные приборы производства китайских и других производителей. Несколько китайских фирм выпускают значительное количество (больше миллиона в год) сейсμοприемников, обладающих примерно такими же параметрами и эксплуатационными характеристиками, как и сейсμοприемники, выпускаемые в России. Для завоевания российского рынка эти фирмы идут на продажу своей продукции в России по демпинговым ценам (в конце 2006 года - около 6 долларов за приемник китайского производства вместо 15-20 долларов за приемник отечественного завода). Подобная политика зарубежных фирм приводит к ослаблению позиций отечественного производства и его вытеснению с рынка сейсмического оборудования.

Пройден более чем восьмидесятилетний путь развития. Сегодня мир приемников сейсмических колебаний находится в таком состоянии, когда классические электродинамические сейсμοприемники, завоевав и надежно обосновавшись в отрасли, практически достигли пределов своего совершенствования. Они имеют оптимальную массу и параметры (при полевых работах особенно в тяжелых климатических условиях бессмысленно уменьшение приемника до размеров наперстка) и дальнейшее усовершенствование их происходит главным образом в области надежности, приспособленности к работе в экстремальных условиях окружающей среды.

В связи с обсуждением истории развития сейсмических приемников, вспомним тех, кто разрабатывал теорию этих устройств. Основы теории сейсμοприемников были заложены Е. Вихертом в 1903 году. В 1912 году Б.Б. Голицын составил дифференциальное уравнение движения вертикального сейсмографа. Г.А. Гамбурцев в 1937 году рассмотрел теорию сейсмографа возвратно-поступательного типа и применил при анализе работы сейсμοприемников метод аналогий. Свой вклад в последующее развитие теории сейсμοприемников внесли наши соотечественники М.К. Полшков, А.И. Слуцковский, Л.К. Шведчиков, Д.П. Кириос, И.И. Гурвич, В.А. Рыжов и др.

В основных чертах теорию сейсμοприемника изложена в статье А.В. Стаско (стр 9).

Механическая часть принципиально одинакова у всех типов приемников инерционного действия. Главные различия в сейсμοприемниках заключаются в принципах преобразования механического движения в электрический сигнал. Поэтому обычно сейсμοприемники классифицируют по типу электромеханического преобразователя.

Следует заметить, что при сейсморазведочных работах с существующими источниками колебаний обычный электродинамический сейсμοприемник реагирует на сложную комбинацию всех трех характеристик колебательного процесса.

Величина возникающей э.д.с. поэтому всегда

пропорциональна смещению, скорости смещения или ускорению чувствительной массы. Коэффициент пропорциональности при этом получил название коэффициент электромеханической связи (КЭМС). В зарубежной литературе его нередко заменяют близким понятием - чувствительность сейсμοприемника. Однако, в строгом смысле слова, это не совсем эквивалентные понятия. Для электродинамических сейсμοприемников чувствительность измеряется величиной напряжения (В), генерируемого сейсμοприемником при скорости движения корпуса прибора в 1 м/с.

У приемников электродинамического типа электромеханический преобразователь работает на основе явления индукции. В катушке, движущейся в магнитном поле, возникает э.д.с., которая зависит от скорости изменения магнитного потока.

Для датчиков на основе MEMS в электрическом преобразователе емкостного типа вырабатывается изменение напряжения, пропорциональное изменению емкости или смещения. Пульсации емкости и напряжения приблизительно связаны таким соотношением

$$dU = -\frac{U}{C} \cdot dC = -\frac{U}{d} \cdot dx$$

Однако при наличии утечек, напряжение меняется по более сложному закону

$$\frac{dU}{dt} = -\frac{U}{d} \cdot \dot{x} - \frac{U}{\tau}$$

Здесь τ - постоянная времени электрической системы.

Можно показать, что при малом τ амплитудно-частотная характеристика этого преобразователя представляет собой функцию:

$$|E_{MEMS}(\omega)| = \left| \frac{U(\omega)}{x(\omega)} \right| = \frac{G}{\sqrt{1 + \frac{1}{(\omega \cdot \tau)^2}}}$$

Следует особо отметить, что физические принципы и теория таких преобразователей были описаны Г.А. Гамбурцевым еще в середине 30-х гг. прошлого века [2]. Так как в MEMS датчиках собственная частота колебаний механической системы много выше частоты измеряемых волн, то основная чувствительность их лежит в области ускорений. Общая амплитудно-частотная характеристика датчика на основе MEMS дается выражением:

$$|S(\omega)| = |A_z(\omega)| \cdot |E_{MEMS}(\omega)|$$

График ее показан на рис. 5. При небольшом τ характеристика становится почти постоянной, начиная с очень низких частот до частоты резонанса, которая составляет сотни Гц.

Для пьезоэлектрических датчиков электрический преобразователь вырабатывает э.д.с. пропорциональную приложенному давлению P .

$$E = G \cdot P$$

Величины давление на глубине H нахождения приемника в воде и скорости смещения частиц жидкости под действием сейсмической волны на поверхности моря связаны для гармонических колебаний на каждой частоте соотношением:

$$\frac{A_p(\omega)|_H}{A_i(\omega)|_0} = V_p \cdot \rho \cdot \sin\left(\frac{\omega}{V_p} \cdot H\right)$$

Если подобрать глубину нахождения пьезоприемников в воде, такую, чтобы $\omega V_p H = \pi/2$, то тогда амплитуды измеряемых приемником давлений будут пропорциональны амплитудам скоростей смещений частиц воды на поверхности моря [4].

История развития техники знает множество примеров, когда усовершенствование какого-либо устройства или создание устройства такого же как и ранее назначения на новых принципах, обещает вначале революционные изменения в развитии отрасли, но, в конечном счете, не выдерживает борьбы с уже существующим, надежным и привычным. Причин этому множество, здесь может сыграть свою роль своевременность, технологичность, простота в изготовлении и использовании, а также не в последнюю очередь экономическая целесообразность. Но есть и много примеров другого рода, когда такое изобретение быстро и прочно завоевывает технологическое пространство и расширяет его новыми областями применения.

Сегодня в области приема сейсмических колебаний происходит подобного рода революция.

Ее основы закладывались более полувека назад.

Уже начиная с 50-х гг. XX века, в ряде стран проводятся разработки, связанные с возможностью применения датчиков, построенных на основе так называемых MEMS-устройств (MEMS-MicroElectroMechanical Systems), в частности для регистрации механических колебаний. Результатом таких работ явилось то, что на рубеже нового тысячелетия крупнейшие фирмы-производители геофизической техники предложили на рынки сейсмического оборудования новые сейсмоприемники VectorSeis (фирма Input-Output) и DSU (фирма CGG) на основе MEMS-датчиков и новые технологии получения данных с использованием этих приемников.

Сегодня под термином MEMS понимают микроустройства самой разнообразной конструкции и назначения, в производстве которых используются технологические приемы микроэлектроники (нанотехнологии). Микроэлектромеханические системы получают путем комбинирования механических элементов, датчиков и электроники на общем кремниевом основании посредством технологий микропроизводства.

MEMS возникла не на ровном месте. Фактически она эволюционировала параллельно полупроводниковой технологии. Во второй

половине 40-х годов прошлого столетия уже была открыта основа ключевых технологических процессов для создания MEMS-устройств и современных полупроводниковых приборов - анизотропное травление кремния. В современной MEMS-технологии этот прием позволяет получать "отсоединенные" от подложки (полупроводникового кристалла, на котором реализуется устройство) микродетали за счет предварительного формирования и последующего удаления травлением специальных "жертвенных" слоев.

Области применения MEMS-устройств постоянно увеличиваются. Это и техника сверхвысокочастотной связи (оснащенные Bluetooth персональные компьютеры, мобильные телефоны) и разнообразные датчики. В современных накопителях на жестких магнитных дисках акселерометры на основе MEMS выполняют микрокоррекцию положения магнитной головки, увеличивая точность ее позиционирования, что позволяет достичь более высокой плотности записи. MEMS-устройства применяются в печатающих головках струйного принтера, в DLP-проекторах. Одним из первых применений MEMS-технологий, получивших повсеместное распространение, стали датчики ускорения (акселерометры), устанавливаемые сейчас практически во все современные автомобили для выработки сигнала о столкновении и срабатывания системы защитных воздушных подушек.

Типичный современный MEMS-акселерометр представляет собой микроструктуру, напоминающую пластину, которая подвешена на пружинах относительно основания. Изменение приложенного к датчику силы (его ускоренное движение) приводит к смещению пластины и отражается на величине электрической емкости этого элемента. Изменение электрической емкости устройства приводит к изменению разности потенциалов в цепи датчика.

В новых сейсмоприемниках выполнено объединение датчика ускорения, созданного на основе MEMS, который является аналоговым датчиком, с цифровым дельта-сигма преобразователем (ASIC) в одном корпусе. По этой причине такой сейсмоприемник по весу, габаритам и цене стал сравнимым с полевым одноканальным модулем современных телеметрических сейсмических систем, работающих с аналоговыми электродинамическими сейсмоприемниками.

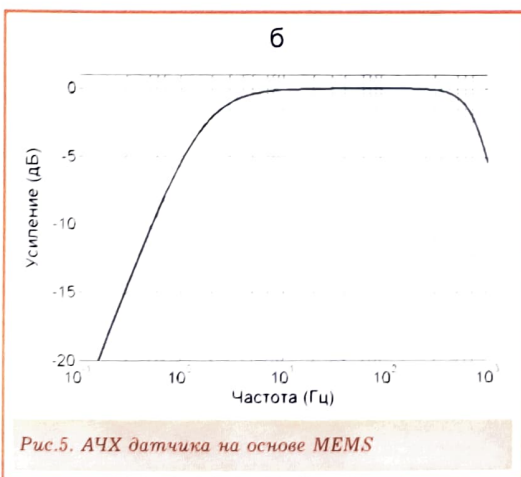
Важными преимуществами нового типа приемников, в сравнении с современными электродинамическими сейсмоприемниками, являются линейность их амплитудной и фазовой частотных характеристик в диапазоне частот от долей герца до несколько сотен герц. Датчики обладают низким суммарным коэффициентом гармоник ($<0.0001\%$), очень высокой прочностью - обеспечивается функционирование при тряске, соответствующей ускорениям в сотни и тысячи единиц g. По сравнению с электродинамическими сейсмоприемниками они обладают улучшенной стабильностью параметров во времени, а также при изменении температуры. Обеспечивается широкий температурный диапазон нормального функционирования (от -40 to 85°C).

Новые сейсмоприемники оказались малочувствительными к углу наклона своей оси к горизонту. В значительной мере они избавлены от влияния электрических наводок, утечек и др. [3, 6].

Все сказанное позволяет считать такие сейсмоприемники весьма перспективными для использования в сейсморазведке.

Однако есть и минусы. Произошло некоторое уменьшение динамического диапазона регистрации до 120-130 дБ за счет повышенных собствен-

И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ... МОИ УНИВЕРСИТЕТЫ



ных шумов датчика.

Условно можно отнести к недостаткам сейсμοприемников такого типа их относительно большой вес (400-600 г), необходимость подключения к источникам электроэнергии, необходимость в ориентации по азимуту (для трехкомпонентных датчиков). Однако вес и потребление энергии не больше, чем в аналоговый приемник — одноканальный полевой модуль. Ориентации по азимуту всегда требуется для трехкомпонентных приемников. Кроме того, в новых приемниках допускается и упрощенный вариант ориентации указателем по профилю.

Существенно важнее представляется такой недостаток MEMS-приемников как возможность только одиночного их использования, так как принципиально отвергается технология группирования. Нельзя складывать электрически коды, которые вырабатываются каждым приемником. Следствием может стать неспособность одиночных датчиков подавлять регулярные волны-помехи. Сегодня выходом из этого представляется уменьшение шага между каналами, что увеличивает количество приемников и приводит к удорожанию работ. Все это может создать очень острую проблему надежной регистрации отраженных волн в условиях помех. По крайней мере, для оценки качества полученных в поле сейсмограмм, на которых оператор не сможет различить полезные волны, может потребоваться экспресс-обработка. Очень значима на сегодня и существенно их более высокая стоимость (в 30-40 раз) по сравнению с аналоговыми сейсμοприемниками электродинамического типа. Скорее всего, аналоговые сейсμοприемники всегда будут ниже по стоимости, а в силу того, что они не содержат электронной части, будут более надежны в

течение длительного срока эксплуатации.

Проблем действительных и вымышленных применений новых цифровых сейсμοприемников много, однако, не исключено, что часть этих проблем носит и психологическую окраску — мы к этому еще не привыкли! Но с подобными же сомнениями входили в сейсморазведку и методы, и многие другие новшества, без которых сейчас сейсмическая разведка не может обойтись.

Акселерометры MEMS, несомненно, будут использоваться даже в условиях, когда есть довольно привлекательная альтернатива. Однако, поскольку практика получения многоволновых изображений среды будет безусловно расширяться, мы должны не забывать о больших возможностях групп аналоговых, в том числе и трехкомпонентных сейсμοприемников. Может так случиться, что особенно выгодно может быть использование этих групп при широком применении техники беспроводной регистрации. А ведь по некоторым прогнозам уже в 2010 году 50% сейсмического оборудования станет беспроводным.

Литература

1. Бондарев В.И., 2006. Сейсморазведка. Кн. 2. Екатеринбург: Изд-во ИГГ, 278 с.
2. Гамбурцев Г.А., 1955. Основы сейсморазведки. М.: ГНТИ НТЛ, 378 с.
3. Жгенти С.А., Перегудов Ю.Л., Кузнецов В.М., 2003. Многоволновая сейсморазведка. Приборы и системы разведочной геофизики. 3 с. 5-9.
4. Слущковский А.И., 1970. Сейсморазведочная аппаратура. М.: Недра, 344 с.
5. Domenico N., 1996. The Mintrop mechanical seismograph - The Leading Edge, pp. 1049-1052.
6. Mougnot D. и др., 2003. 3С Акселерометры на базе MEMS для наземной сейсмической разведки. Пришло ли их время? - Приборы и системы разведочной геофизики, 3, с.25-30.
7. Schriever W., 1952. Reflection seismograph prospecting - how it started. The Oklahoma Quarterly, University of Oklahoma Association, Vol. 1, No. 4, July 1952, pp. 27-30.



World Leader in Magnetotellurics PHOENIX GEOPHYSICS

- Многофункциональная и специализированная электроразведочная аппаратура для всех наземных ЕМ методов. Высокоточная GPS синхронизация всех приборов.
- Датчики, приёмники, генераторы, мониторинговые системы, вспомогательное оборудование.
- Полный комплект аппаратурно-технических средств и программного обеспечения для выполнения полевых измерений, обработки и интерпретации. Русифицированная документация. Сдача под ключ на объекте Заказчика.
- Централизованное обучение обслуживающего персонала и курсы повышения квалификации в России. Гарантийное сервисное обслуживание в течение трех лет



Toronto

Системы в полном комплекте для поисков, разведки, мониторинга и научных исследований

Тел: +1 416 491-7340 Факс: +1 416 491-7378 www.phoenix-geophysics.com mail@phoenix-geophysics.com

В настоящее время наибольшее количество видов и объёмов сейсморазведочных работ проводят с электродинамическими сейсмоприёмниками скорости. Теоретические исследования этих сейсмоприёмников, начатые в [2], были продолжены сначала в [10], а затем в [6]. При выводе передаточной функции электродинамического сейсмоприёмника в [6] было сделано предположение о том, что существующая между каркасом и обмоткой катушки индуктивная связь поворачивает фазу сигнала на 180° . Это предположение, снизив до третьей степени многочлена знаменателя передаточной функции сейсмоприёмника, позволило упростить промежуточные преобразования. Вычисленная передаточная функция и построенная по ней АЧХ совпали с передаточной функцией и АЧХ сейсмоприёмника, рассмотренного в [10]. Совпадение результатов теоретических исследований, казалось, подтвердили сделанное предположение. В соответствии с результатами исследований, проведённых в [10] и [6], АЧХ электродинамического сейсмоприёмника после частоты $1/\tau_3$ (где τ_3 — постоянная времени каркаса катушки) должна была бы спадать до нуля. В этом сейсмоприёмнике частота $1/\tau_3$ превышает несколько килогерц и не искажает график АЧХ в рабочем частотном диапазоне и, поэтому, не возникала необходимость в её экспериментальной проверке.

Ошибочность сделанного в [6] предположения о повороте фазы сигнала, осуществляемом индуктивной связью в сейсмоприёмнике, была обнаружена при создании электродинамического сейсмоприёмника ускорений. В сравнении с сейсмоприёмником скорости в электродинамическом сейсмоприёмнике ускорений рассчитанная степень затухания, обеспечиваемая каркасом катушки, должна была увеличиться на порядок и во столько же раз должна была увеличиться постоянная времени τ_3 , а частота $1/\tau_3$ приблизиться к верхней границе рабочего частотного диапазона. Проведённые экспериментальные исследования выявили на этой частоте не спад, а подъём АЧХ сейсмоприёмника, т.к. индуктивная связь не поворачивала фазу сигнала на 180° . Результат экспериментальных исследований был учтён в [7] при разработке электродинамического сейсмоприёмника ускорений. В числителе передаточной функции сейсмоприёмника появились сомножители аperiodических звеньев, а знаменатель стал многочленом четвёртой степени. Из-за большой постоянной времени каркаса катушки разложение этого многочлена на простые множители в приемлемом символическом виде потребовало специально разработанного приёма для сейсмоприёмника с большой степенью затухания. В сейсмоприёмнике скорости из-за малого значения постоянной времени τ_3 разложение многочлена четвёртой степени будет проведено более простым известным приёмом [4].

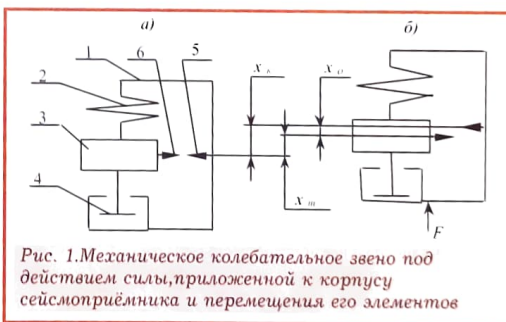
Кроме того, проведённые в последнее время исследования в [5] позволили найти (ниже рассмотренный) переход от выведенного в неинерциальной системе координат уравнения

движения основного звена сейсмоприёмника — механического колебательного к уравнению в инерциальной системе.

Электромеханическая схема, сигнальный граф и передаточная функция электродинамического сейсмоприёмника скорости перемещения его корпуса полностью совпадают с электромеханической схемой, сигнальным графом и передаточной функцией электродинамического сейсмоприёмника ускорений, рассмотренного в [7]. Общая для этих сейсмоприёмников передаточная функция имеет вид:

$$W(p) = \frac{U_{\text{вых}}}{p v_k} = \frac{acd(2b + 2fg)}{1 + 2bcp(2b + 2fg) + cfp(2bh + 2f)} \quad (1)$$

Ветвь a сигнального графа отображает передаточную функцию механического колебательного звена, являющегося основным в сейсмоприёмнике и представляющее собой инерционное тело, связанное пружиной с корпусом, воспринимающим колебания изучаемой среды. В основе устройства звена лежит закон инерции [1]. Этот закон, являющийся первым законом Ньютона, утверждает: материальное тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, пока какая-нибудь сила не изменит этого движения. Схема звена изображена на рисунке 1. С корпусом 1 соединена пружина 2. Второй конец пружины связан с



инерционным телом 3. Демпфирующее устройство 4 осуществляет затухание свободных колебаний инерционного тела относительно корпуса. Указатели 5 и 6 обеспечивают возможность наблюдения относительного перемещения корпуса и инерционного тела. Жёсткость пружины равна k , масса инерционного тела равна m , а затухание, создаваемое демпфером, пропорционально коэффициенту h . Механическое колебательное звено работает в сейсмоприёмнике как в режиме генератора, так и в режиме двигателя.

Входной сигнал механического колебательного звена, действующего в режиме двигателя, — это сила F , приложенная между инерционным телом и корпусом, а выходной сигнал звена — перемещение инерционного тела относительно корпуса (или прогиб пружины) x_o , равное в этом режиме x_m . В режиме двигателя уравнение движения механического колебательного звена имеет известный [8] вид:

$$m\ddot{x}_o + h\dot{x}_o + kx_o = F \quad (2)$$

Прежде чем приступить к выводу уравнения движения механического колебательного звена в режиме генератора, рассмотрим два вида его равноускоренного движения из состояния покоя от постоянной силы, приложенной к нему. Движения будут отличаться тем, что время действия силы на звено в одном виде будет больше его постоянной времени τ_0 , во втором – меньше. Выбранные простейшие виды движения позволят провести их анализ на основе первых двух законов Ньютона и понятия равноускоренного движения системы под воздействием постоянной силы. Результаты анализа этих видов движения помогут понять важные особенности движения инерционного тела при работе механического колебательного звена в режиме генератора.

Сначала рассмотрим движение звена, когда время действия постоянной силы на него будет больше τ_0 . От силы, приложенной к звену, его корпус в соответствии со вторым законом Ньютона начнет равноускоренное движение. Ускорение является функцией от силы – независимой переменной, и направление вектора ускорения совпадает с направлением вектора силы [9]. Как установлено в [7], во время переходного процесса в механическом колебательном звене ускорения корпуса $\ddot{x}_k$, прогиба пружины $\ddot{x}_o$ и инерционного тела $\ddot{x}_m$ связаны уравнением:

$$\ddot{x}_k = \ddot{x}_o + \ddot{x}_m. \quad (3)$$

В начале переходного процесса, на основании первого закона Ньютона, инерционное тело, стремясь сохранить своё первоначальное положение, будет изменять прогиб пружины, увеличивая развиваемую ею силу, до тех пор, пока ускорение прогиба пружины не будет равным нулю, а ускорения инерционного тела и корпуса станут равными. После окончания переходного процесса прогиб пружины будет постоянным и станет справедливым равенство:

$$m\ddot{x}_m = m\ddot{x}_k = kx_o \quad (4)$$

Из (4) получим:

$$\ddot{x}_k = x_o \omega_o^2 \quad (5)$$

где $\omega_o = 1/\tau_o = \sqrt{m/k}$ – круговая частота свободных колебаний звена.

В этом виде движения ускорение корпуса механического колебательного звена пропорционально прогибу пружины. При этом затухание, обеспечивающее качество переходного процесса, не участвует в равноускоренном движении звена.

Как известно из [8], длительность переходного процесса механического колебательного звена с оптимальной степенью затухания составляет $3\tau_0$.

Когда сила, действующая на корпус, будет менять своё значение с интервалом не менее $3\tau_0$, тогда прогиб пружины или относительное перемещение инерционного тела и корпуса становится естественной мерой измерения ускорения корпуса, а частотный диапазон сверху ограничен частотой $\omega_o/3$. Этот вывод совпадает с известным выбором частоты свободных колебаний пьезоакселерометра,

превышающей верхнюю частоту его частотного диапазона в три раза.

Рассмотрим второй вид движения, когда время действия постоянной силы на звено будет значительно меньше τ_0 . Пусть сила F будет действовать на корпус время, равное Δt и оно будет значительно меньше τ_0 . Затем сила F прекратит своё воздействие и к корпусу будет приложена сила $2F$, направленная противоположно, как показано на рисунке 2. Через время Δt сила $2F$ изменит направление и т.д. При таком воздействии сил на корпус вызываемые прогибом пружины ускорения инерционного тела в соответствии с первым законом Ньютона будут близки к нулю и инерционное тело будет оставаться почти неподвижным. Тогда в уравнении (3) $\ddot{x}_m$ будет намного меньше $\ddot{x}_o$, и будет справедливо выражение: $\ddot{x}_k \approx \ddot{x}_o$.



Рис. 2.

Дважды проинтегрировав уравнение (3) и определив постоянные интегрирования из начальных условий, получим аналогичное равенство для перемещений $x_k = x_o + x_m$, а из него найдем $x_k \approx x_o$. Отношение сигнала на выходе к сигналу на входе механического колебательного звена является его передаточной функцией: $W(p) = \ddot{x}_o / \ddot{x}_k = x_o / x_k \approx 1$. В этом виде движения прогиб пружины или относительное перемещение инерционного тела и корпуса становится мерой измерения перемещения корпуса, а почти неподвижное инерционное тело – естественной точкой отсчёта этого перемещения. (Аналогично ведёт себя инерционное тело и при гармонических колебаниях корпуса с частотами, превышающими частоту свободных колебаний звена [6]). При этом демпфирующее устройство с одной стороны, обеспечивает затухание резонансных перемещений инерционного тела на частоте свободных колебаний, с другой – создаёт внутренний шум механического колебательного звена [1]. Кроме тепловой энергии, создаваемой затуханием, само затухание передаёт на инерционное тело колебания корпуса с силой, равной $h\dot{x}_o$ добавляя шумовые ускорения. Как известно, действующее на корпус механического колебательного звена ускорение, эквивалентное ускорению, вызываемому внутренним тепловым шумом демпфирующего устройства, равно [1]:

$$a = 7,1 \sqrt{kT \cdot \Delta f \cdot \frac{\beta f_o}{m}} \quad (6)$$

где $k = 1,3810^{-23}$ Дж/°К – постоянная Больцмана, $T = 300$ °К – абсолютная температура, Δf – рабочий частотный диапазон, β – степень затухания механического колебательного звена, f_o – частота его свободных колебаний.

В соответствии с формулой (6) наименьший внутренний тепловой шум будет иметь механичес-

кое колебательное звено, применяемое в узком рабочем частотном диапазоне, с наименьшей степенью затухания и частотой свободных колебаний и с наибольшей массой инерционного тела.

Уравнение движения механического колебательного звена в режиме генератора в инерциальной системе координат получено в [7]. Это же уравнение корректно можно вывести и в неинерциальной системе координат. Система координат, движущаяся с ускорением, называется неинерциальной. В неинерциальных системах координат не выполняется ни закон инерции, ни второй закон Ньютона. В неинерциальной системе координат, движущейся с ускорением $\vec{a}$, законы механики будут справедливы только тогда, когда к силам, реально действующим на инерционное тело, будет добавлена сила инерции, направленная в сторону, противоположную ускорению системы:

$$\vec{F} = -m\vec{a}, \quad (7)$$

Первым получил уравнение движения механического сейсмографа в неинерциальной системе координат Б.Б. Голицын в [3]. Рассмотрим предложенный им способ составления уравнения движения механического колебательного звена, находящегося в состоянии покоя в этой системе координат. Приложим постоянную силу к корпусу звена. Под действием этой силы в соответствии со вторым законом Ньютона, корпус (неинерциальная система) начнёт движение с ускорением $\ddot{x}_k$, равным отношению силы к массе звена. Тогда за достаточно короткий промежуток времени, составляющий долю постоянной времени звена, в движении инерционного тела относительно корпуса на тело будет действовать сила инерции, определяемая формулой (7), и в механическом колебательном звене возникнет движение в режиме двигателя в соответствии с уравнением (2). Заменяя в (7) ускорение $\vec{a}$ на $\ddot{x}_k$ и подставив вместо силы $\vec{F}$ полученное выражение в (2), получим дифференциальное уравнение движения механического колебательного звена в режиме генератора в неинерциальной системе координат:

$$m\ddot{x}_o + h\dot{x}_o + kx_o = -m\ddot{x}_k \quad (8)$$

Достоверный, изящный и удивительно экономный в изложении способ, ярко подтверждающий эффективность применения понятия о неинерциальной системе координат. Уравнение (8) отличается от искомого знаком в его правой части. Отрицательный знак в (8) не отражает объективных физических свойств звена, а связан только с субъективным выбором исследователем неинерциальной системы, упрощающей вывод этого уравнения движения. Принимать (8) за истинное уравнение движения механического колебательного звена — ошибочно.

Полученное Б.Б. Голицыным уравнение движения инвертирующего сейсмографа, на самом деле, является уравнением движения не сейсмографа, а его механического колебательного звена в неинерциальной системе. И это уравнение является правильным, но промежуточным результатом и, получив его, Б.Б. Голицын затем должен был бы найти корректный переход от уравнения, выведенного в неинерциальной системе к уравнению в инерциальной системе, т.к. в теоретической механике не разработан общий способ такого перехода. Получив уравнение движения механического колебательного звена, совпавшее с уравнением движения инвертирующего механического сейсмографа, неверно полученным Е. Вихертом в [11],

Б.Б. Голицын ошибочно привёл его за искомым, оставив не решённой задачу по корректному выводу уравнения движения механического сейсмографа.

Решим задачу по преобразованию уравнения движения механического колебательного звена (8) из вспомогательной неинерциальной в инерциальную систему координат [5]. Вначале рассмотрим перемещение механического колебательного звена, изображённого на рисунке 1а, при его равноускоренном движении. В неинерциальной системе относительное перемещение инерционного тела и корпуса x_o , (рисунок 1б) равно:

$$x_o = x_m - x_k \quad (9)$$

Т.к. мы рассматриваем равноускоренное движение механического колебательного звена из начального положения состояния покоя на отрезке времени t , не превышающим доли постоянной времени звена, то первая производная от x_o будет равна $\dot{x}_o$, а вторая — $\ddot{x}_o$. Подставив в уравнение (8) вместо перемещения x_o выражения из (9), а вместо производных $\dot{x}_o$, $\ddot{x}_o$ их выражения $\dot{x}_m - \dot{x}_k$ и $\ddot{x}_m - \ddot{x}_k$, получим уравнение движения механического колебательного звена с выходным сигналом, равным перемещению инерционного тела в инерциальной системе координат [6]:

$$m\ddot{x}_m + h\dot{x}_m + kx_m = h\dot{x}_k + kx_k, \quad (10)$$

В инерциальной системе координат относительное перемещение инерционного тела и корпуса x_o (рисунок 1б) равно:

$$x_o = x_k - x_m \quad (11)$$

Выразив x_m из уравнения (11) и составив аналогичное уравнение для скорости $\dot{x}_m = \dot{x}_k - \dot{x}_o$ и для ускорения $\ddot{x}_m = \ddot{x}_k - \ddot{x}_o$, подставим их в (10) и получим дифференциальное уравнение движения механического колебательного звена в инерциальной системе координат:

$$m\ddot{x}_o + h\dot{x}_o + kx_o = m\ddot{x}_k. \quad (12)$$

Достоверное уравнение движения механического колебательного звена, применяемого в режиме генератора, проще получается в неинерциальной системе, но его преобразование в инерциальную систему координат потребовало неочевидного решения.

Придав уравнению движения (12) операторную форму записи, найдём передаточную функцию механического колебательного звена как отношение сигнала на выходе звена к сигналу на входе:

$$W(p) = \frac{x_o}{x_k} = \frac{\tau_o^2 p^2}{\tau_o^2 p^2 + 2\beta\tau_o p + 1}, \quad (13)$$

где $\beta = h/(2k\tau_o)$ — степень затухания.

Убрав из передаточной функции звена (13) затухание, получим передаточную функцию ветви а:

$$a = \frac{x_o}{x_k} = \frac{\tau_o^2 p^2}{\tau_o^2 p^2 + 1} \quad (14)$$

Передаточные функции остальных ветвей будут иметь такие же выражения, как и [6]:

$$b = K_{m1} = K_{m2}, \quad d = R_m, \quad c = \frac{1}{k(\tau_o^2 p^2 + 1)}$$

$$f = K_{f1} = K_{f2} \cdot c = \frac{1}{R_{12} + R_{13}} \cdot \frac{\tau_1 p + 1}{(\tau_1 + \tau_3)p + 1}$$

$$j = \frac{1}{R_3} \cdot \frac{0,5\tau_1\tau_3 p^2 + (\tau_1 + \tau_3)p + 1}{(\tau_3 p + 1)[(\tau_1 + \tau_3)p + 1]}$$

$$g = \frac{n_1}{n_1} \cdot \frac{0,5\tau_1(\tau_3 p + 1)p}{0,5\tau_1\tau_3 p^2 + (\tau_1 + \tau_3)p + 1}$$

$$h = \frac{E_{11}}{E_1} = \frac{n_1}{n_1} \cdot \frac{\tau_3 p}{\tau_3 p + 1}$$

Подставив значение ветвей $a, b, c, d, e, f, g, h, j$ в передаточную функцию (1), после преобразований получим:

$$W(p) = \frac{U_{вых}}{pX_1} = \frac{R_{12}}{R_{12} + R_{13}} \cdot \frac{K_{f1}\tau_0^2(2\tau_3 p + 1) \cdot (\tau_3 p + 1)p^2}{\Sigma} \quad (15)$$

где $K_{f1} = 2K_{f2}$;

$$\begin{aligned} \Sigma = & [((\tau_1 + \tau_3)\tau_3)/\tau_0^2]\tau_0^4 p^4 + \\ & + [2\beta_{12} \cdot 2\tau_1^2/\tau_0^2 + 2\beta_{34} \cdot \tau_1\tau_3/\tau_0^2 + (\tau_1 + 2\tau_3)/\tau_0]\tau_0^3 p^3 + \\ & + [1 + 2\beta_{12} \cdot 3\tau_3/\tau_0 + 2\beta_{34} \cdot (1,5\tau_1 + \tau_2)/\tau_0 + \tau_3(\tau_1 + \tau_3)/\tau_0^2]\tau_0^2 p^2 + \\ & + \tau_3(\tau_1 + \tau_3)/\tau_0^2]\tau_0 p^2 + (2\beta_{12} + 2\beta_{34} + (\tau_1 + 2\tau_3)/\tau_0)\tau_0 p + 1 \end{aligned}$$

R_{12} -сопротивление обмоток; R_{13} -сопротивление шунта; K_{f1} -коэффициент преобразований сигнальных обмоток; $\tau_1 = L_{12}/(R_{12} + R_{13})$ -постоянная времени сигнальных обмоток; L_{12} -индуктивность сигнальных обмоток; $\tau_3 = \tau_4 = L_3/R_3 = L_4/R_4$ -постоянная времени короткозамкнутого каркаса; $L_3 = L_4$ -индуктивность каркаса; $R_3 = R_4$ -сопротивление каркаса; $\beta_{12} = K_{f1}^2 \tau_0 / 2m(R_{12} + R_{13})$ -степень затухания сейсмоприёмника от тока, протекающего через две последовательно соединённые обмотки; $\beta_{34} = K_{f2}^2 \tau_0 / mR_3$ -степень затухания, обеспечиваемого токами, протекающими в двух короткозамкнутых каркасах; K_{f2} -коэффициент преобразований каркаса.

Определение точного значения простых множителей многочлена четвёртой степени в общем виде является трудноразрешимой задачей. Если коэффициенты многочлена выразить числом, то решение задачи упрощается, и разложение многочлена на множители легче всего провести, определив корни уравнения четвёртой степени с помощью математической программы на компьютере.

Найдём в общем виде приближенное разложение многочлена Σ из формулы (15) на два сомножителя, каждый из которых выражается передаточной функцией колебательного звена. Для этого воспользуемся приёмом, применённым в [4]. Чтобы найти приближённые значения постоянных времени колебательных звеньев, достаточно приравнять нулю сумму действительных членов многочлена четвёртой степени. Оценим величину ошибки такого нахождения постоянных времени колебательных звеньев. Искомое разложение многочлена Σ представим в виде:

$$\Sigma = (\tau_{01}^2 p^2 + 2\beta_{01}\tau_{01}p + 1)(\tau_{02}^2 p^2 + 2\beta_{02}\tau_{02}p + 1) \quad (16)$$

где τ_{01} и τ_{02} -искомые постоянные времени, а β_{01} и β_{02} -степени затухания колебательных звеньев.

Перемножив трехчлены, выделим действительную часть многочлена и, приравняв её нулю, получим:

$$\tau_{01}^2 \tau_{02}^2 p^4 + (\tau_{01}^2 + \tau_{02}^2 + 4\beta_{01}\beta_{02}\tau_{01}\tau_{02})p^2 + 1 = 0$$

Заменив p на $j\omega$, а $j\omega$ на j/τ , и после подстановки решив уравнение, найдём:

$$\tau_{x1, x2}^2 = \left[\frac{1}{2} \cdot \tau_{01}^2 \left(1 + 4\beta_{01}\beta_{02} \frac{\tau_{02}}{\tau_{01}} + \frac{\tau_{02}^2}{\tau_{01}^2} \right) \right] \cdot \left[1 \pm \sqrt{1 - 4 \frac{\tau_{02}^2}{\tau_{01}^2} \left(1 + 4\beta_{01}\beta_{02} \frac{\tau_{02}}{\tau_{01}} + \frac{\tau_{02}^2}{\tau_{01}^2} \right)^2} \right]$$

В отличие от систем, рассматриваемых в электрических цепях [4] и в теории автоматического управления [8], в сейсмоприёмниках τ_{02} более чем на порядок меньше τ_{01} и поэтому вычитаемое, стоящее под знаком корня намного меньше единицы. Воспользовавшись известной формулой приближённых вычислений:

$$\sqrt{1+x} \approx 1 + x/2 \quad (17)$$

где $x \ll 1$, получим:

$$\begin{aligned} \tau_{x1}^2 &= \tau_{01}^2 \left(1 + 4\beta_{01}\beta_{02} \frac{\tau_{02}}{\tau_{01}} + \frac{\tau_{02}^2}{\tau_{01}^2} \right) \\ \tau_{x2}^2 &= \tau_{02}^2 \left(1 + 4\beta_{01}\beta_{02} \frac{\tau_{02}}{\tau_{01}} + \frac{\tau_{02}^2}{\tau_{01}^2} \right) \end{aligned}$$

Если τ_{01} будет больше $50\tau_{02}$, а $\beta_{01}\beta_{02}$ не будет превышать 0,25, то ошибка в определении τ_{01} и τ_{02} по указанному способу составит не более одного процента и тогда с достаточной точностью можно принять: $\tau_{x1}^2 = \tau_{01}^2$, $\tau_{x2}^2 = \tau_{02}^2$.

Итак, постоянные времени колебательных звеньев найдём, приравняв нулю действительную часть многочлена Σ из (15):

$$\tau_0^2(\tau_1 + \tau_3)\tau_3 p^4 + Y_1 \tau_0^2 p^2 + 1 = 0$$

где $Y_1 = 1 + 6\beta_{12} \tau_3/\tau_0 + \beta_{34}(3\tau_1 + 2\tau_3)/\tau_0 + (\tau_1 + \tau_3)\tau_3/\tau_0^2$.

Заменив p на $j\omega$, а $j\omega$ на j/τ , и после подстановки решив уравнение, найдём:

$$\tau_{x1, x2}^2 = \frac{Y_1 \tau_0^2}{2} \cdot \left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{4(\tau_1 + \tau_3)\tau_3}{Y_1^2 \tau_0^2}} \right]$$

Вычитаемое, стоящее под знаком корня намного меньше единицы, и тогда с учётом формулы (17), найдём:

$$\begin{aligned} \tau_{x1}^2 &= \tau_{01}^2 = Y_1 \tau_0^2 \\ \tau_{x2}^2 &= \tau_{02}^2 = (\tau_1 + \tau_3)\tau_3/Y_1 \end{aligned} \quad (18)$$

Так как в рассматриваемом сейсмоприёмнике $\beta_{12} \approx 2$, $\beta_{34} \approx 0,35$, а $\tau_1 \approx \tau_3$ и $\tau_0 \approx 100\tau_1$, то Y_1 будет близко к единице и тогда (18) будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \tau_{01}^2 &= \tau_0^2 \\ \tau_{02}^2 &= (\tau_1 + \tau_2)\tau_2 \end{aligned} \quad (19)$$

Затем найдём степень затухания колебательных звеньев, приравняв коэффициенты при p^3 и p многочлена Σ из (15) соответствующим коэффициентам искомого многочлена из формулы (16) и составив систему двух уравнений

$$\left\{ \begin{aligned} 2\beta_{12}\tau_0\tau_1 + \tau_1^2\beta_{12} + 2\beta_{12}\tau_0^2\tau_1 + \tau_1^2\beta_{12} \\ 4\tau_1^2\tau_0^2 + 2\beta_{12}\tau_0\tau_1 + \tau_1^2\tau_0 + 2\tau_1 \\ 2\beta_{12}\tau_0 + 2\beta_{12}\tau_0^2\tau_1 + \tau_1\beta_{12} - 2\tau_0\beta_{12} + \beta_{12}\tau_1 + \tau_1 + 2\tau_1 \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Решив систему уравнений (20) и учитывая то, что отношения τ_1/τ_0 , τ_1^2/τ_0^2 , τ_1^3/τ_0^3 и $(\tau_1 + \tau_0)\tau_1/\tau_0$ значительно меньше единицы, получим

$$\left\{ \begin{aligned} \beta_{12} &= \beta_{12} + \beta_{12} \\ \beta_{12} &= \frac{\tau_1 + 2\tau_0}{2\sqrt{(\tau_1 + \tau_0)\tau_1}} \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

Интересно отметить, то, что из второго уравнения системы (20) можно сразу получить приближенное значение степени затухания β_{12} , приравняв первое слагаемое левой части уравнения первому слагаемому правой части, и затем то же сделать для β_{12} .

Подставив (19) и (21) в (16) и представив полученный сомножитель

$$[(\tau_1 + \tau_0)\tau_1 p^2 + (\tau_1 + 2\tau_0)p + 1]$$

произведением

$$[(\tau_1 + \tau_0)p + 1](\tau_1 p + 1),$$

$$\Sigma = [\tau_0^2 p^3 + 2(\beta_{12} + \beta_{12})\tau_0 p^2 + 1][(\tau_1 + \tau_0)p + 1](\tau_1 p + 1).$$

Перемножив сомножители многочлена (22), получим

$$\begin{aligned} \Sigma = & [(\tau_1 + \tau_0)\tau_0/\tau_0^2][\tau_0^2 p^3 + 2\beta_{12}(\tau_1 + \tau_0)\tau_0/\tau_0^2 + \\ & + 2\beta_{12}(\tau_1 + \tau_0)\tau_0/\tau_0^2 + (\tau_1 + 2\tau_0)/\tau_0][\tau_0^2 p^3 + \\ & + [1 + 2\beta_{12}(\tau_1 + 2\tau_0)/\tau_0 + 2\beta_{12}(\tau_1 + 2\tau_0)/\tau_0 + \\ & + (\tau_1 + \tau_0)\tau_0/\tau_0][\tau_0^2 p^2 + [2\beta_{12} + 2\beta_{12} + \\ & + (\tau_1 + 2\tau_0)/\tau_0]\tau_0 p + 1 \end{aligned} \quad (23)$$

Множители при β_{12} и β_{12} членов p^3 и p^2 многочлена (23) отличаются от соответствующих множителей многочлена Σ из формулы (15). Чтобы дать оценку влияния отличия этих множителей на величину параметров сейсмоприёмника, найдём для GS-32CT численные значения корней рассматриваемых многочленов. Из проспекта GS-32CT найдём степень затухания, создаваемого сигнальной обмоткой: $\beta_{12} = \beta - \beta_{12} = 0,7 - 0,316 = 0,384$, и постоянную времени $\tau_0 = 1/2\pi f_0 = 1/\pi \cdot 10 = 0,0159$ с. Постоянную времени τ_1 определим, измерив индуктивность сигнальной обмоткой GS-32CT (0,28 Гн) и разделив её на суммарное сопротивление обмотки (395 Ом) и шунта (1000 Ом). В результате получим значение постоянной времени $\tau_1 = 0,2$ мс. Постоянную времени τ_1 найдём расчётом. Формулу для расчёта выведем, заменив в уравнении $\tau_1 = L/R$, индуктивность и сопротивление каркаса соответствующими параметрами сигнальной обмотки с помощью известных зависимостей

$$L_3 = L_1 n_3^2/n_1^2 \quad r_3 = K_{H3}^2 \tau_0/m\beta_3 \quad \text{и} \quad K_{H3}^2 = K_{H1}^2 n_3^2/n_1^2.$$

После подстановки и преобразований найдём:

$$\tau_1 = 2L_1 m\beta_3/K_{H1}^2 n_1^2 \quad (24)$$

Подставив численные значения параметров сейсмоприёмника GS-32CT в (24), имеем

$$\tau_1 = 1,623 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$$

Определив численные значения τ_0 , τ_1 , β_{12} , β_{12} , получим

$$\begin{aligned} \Sigma_1 = & 1,4892 \cdot 10^{-11} c^4 p^4 + 1,3404 \cdot 10^{-11} c^3 p^3 + \\ & + 2,6456 \cdot 10^{-4} c^2 p^2 + 2,2785 \cdot 10^{-2} c p + 1 \end{aligned}$$

для многочлена (23), а для многочлена Σ из формулы (15)

$$\begin{aligned} \Sigma = & 1,4892 \cdot 10^{-11} c^4 p^4 + 1,3370 \cdot 10^{-11} c^3 p^3 + \\ & + 2,6347 \cdot 10^{-4} c^2 p^2 + 2,2785 \cdot 10^{-2} c p + 1 \end{aligned}$$

Вычислив и преобразовав комплексные корни в τ_0 и β_{12} , β_{12} , а действительные в τ_1 , τ_1 и τ_1 , получим для (23): $\tau_0 = 1,590 \cdot 10^{-2}$ с, $\beta_{12} = 0,7000$, $\tau_1 = \tau_1 = -3,631 \cdot 10^{-1}$ с, $\tau_1 = 1,624 \cdot 10^{-4}$ с.

для (15): $\tau_0 = 1,587 \cdot 10^{-2}$ с, $\beta_{12} = 0,7015$, $\tau_1 = \tau_1 = -3,6529 \cdot 10^{-1}$ с, $\tau_1 = 1,630 \cdot 10^{-4}$ с.

Относительная ошибка корней (23) в сравнении с (15) составляет для τ_0 не более 0,2%, для $\beta_{12} + \beta_{12} = 0,22\%$, для $\tau_1 = \tau_1 = 0,06\%$ и для $\tau_1 = 0,4\%$.

Итак, искомое представление многочлена знаменателя (22) удовлетворительно отображает знаменатель передаточной функции (15) и имеет достаточную точность для практических расчётов.

Подставив (22) в (15), после сокращений получим:

$$W(p) = \frac{U_{max}}{\dot{X}_3} = \left(\pm K_n \cdot \frac{R_m}{R + R_m} \right) \cdot \frac{\tau_0^2 p^2}{\tau_0^2 p^2 + 2\tau_0 \beta p + 1} \cdot \frac{2\tau_1 p + 1}{(\tau_1 + \tau_1)p + 1} \quad (25)$$

Передаточная функция сейсмоприёмника (25) представлена в виде трёх сомножителей, являющихся передаточными функциями его звеньев.

Первый сомножитель, заключённый в скобки, является передаточной функцией преобразователя сейсмоприёмника и представляет собой произведение коэффициента преобразования и делителя, состоящего из сопротивлений обмотки и шунта. Передаточная функция инвертирующего преобразователя будет иметь положительный, а инвертирующего — отрицательный знак. Электродинамический преобразователь позволяет легко инвертировать выходной сигнал изменением направления намагничивания постоянного магнита или изменением начала и конца обмотки. В сейсмоприёмнике с инвертирующим преобразователем ветви b и $2b$ сигнального графа и передаточные функции (15) и (25) получают знак минус.

Второй сомножитель — передаточная функция механического колебательного звена с входным сигналом, приложенным к корпусу сейсмоприёмника. Эта передаточная функция является произведением передаточной функции двойного дифференцирующего звена и передаточной функции механического колебательного звена с входным сигналом, приложенным к инерционному телу.

Третий сомножитель представлен в виде отношения передаточных функций двух аперио-

дических звеньев, созданных в сейсмоприёмнике индуктивными связями и отражающих свойства сейсмоприёмника на высоких частотах.

Передаточная функция сейсмоприёмника (25) отличается от передаточных функций, приведённых в [6 и 10], наличием в числителе множителя $(2\tau^2 p + 1)$, изменяющего формулы АЧХ и ФЧХ сейсмоприёмника и их графики на высоких частотах.

Передаточная функция (25), представленная в виде произведения передаточных функций элементарных звеньев, позволяет провести анализ свойств сейсмоприёмника без получения формулы АЧХ и построения графика АЧХ по этой формуле [8]. До и около частот свободных колебаний, равной $1/\tau_0$, АЧХ сейсмоприёмника будет совпадать с АЧХ механического колебательного звена. На высоких частотах АЧХ не будет спадать до нуля, как в [6 и 10], а её вид будет зависеть от значений постоянных времени τ_1 и τ_3 . Если τ_1 будет больше τ_3 , то график АЧХ, начиная с частоты $1/(\tau_1 + \tau_3)$, пойдёт вниз с наклоном 6 дБ на октаву, а с частоты $1/2\tau_2$ пойдёт параллельно оси частот. Если же τ_1 будет меньше τ_3 , тогда график АЧХ с частоты $1/2\tau_3$ пойдёт вверх с наклоном 6 дБ на октаву, а с частоты $1/(\tau_1 + \tau_3)$ пойдёт параллельно оси частот. Если τ_1 будет равно τ_3 , то АЧХ не будет иметь изломов.

Чтобы получить формулу АЧХ, заменим в (25) p на $j\omega$ и, определив модуль полученного комплексного числа, найдём:

$$W'(\omega) = K_{II} \cdot \frac{R_{III}}{R_{I2} + R_{III}} \cdot \frac{\omega^2 \tau_0^2}{\sqrt{(1 - \omega^2 \tau_0^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2 \tau_0^2}} \cdot \frac{\sqrt{1 + 4\omega^2 \tau_3^2}}{\sqrt{1 + 4\omega^2 (\tau_1 + \tau_3)^2}}$$

АЧХ сейсмоприёмников с инвертирующим и неинвертирующим электродинамическим преобразователем совпадают.

Из передаточной функции (25) сейсмоприёмника найдём его ФЧХ. Формула ФЧХ сейсмоприёмника с неинвертирующим электродинамическим преобразователем будет иметь вид:

$$\varphi(\omega) = \begin{cases} \pi - \arctg \frac{2\beta\omega\tau_0}{1 - \omega^2 \tau_0^2} + \arctg 2\omega\tau_3 - \arctg \omega(\tau_1 + \tau_3) & \text{если } \omega \leq \omega_0 \\ - \arctg \frac{2\beta\omega\tau_0}{1 - \omega^2 \tau_0^2} + \arctg 2\omega\tau_3 - \arctg \omega(\tau_1 + \tau_3) & \text{если } \omega > \omega_0 \end{cases}$$

От Редакции.

Уважаемые читатели нашего журнала!

Как обычно мы могли бы отметить, что Редакция резервирует за собой право разделять или не разделять точку зрения автора на те или иные аспекты, затронутые в данной публикации. И все! Однако, поскольку в своей статье автор высказал вполне определенные претензии на свое видение классических основ теории электродинамического сейсмоприёмника, на что, кстати сказать, он имеет полное право, Редакция приглашает профессионалов высказаться на этот счет. В конце концов, "нет ничего более практичного, чем хорошая теория" (Густав Роберт Кирхгоф).

Итак, проведённые исследования позволяют сделать следующие выводы:

- изложенная современная теория электродинамического сейсмоприёмника полностью соответствует достигнутому уровню науки;
- на основании полученного в [7] в инерциальной системе координат уравнения движения механического колебательного звена и решения механического уравнения движения задачи в инерциальной системе координат, а также функции механического сейсмографа передаточной функции электромеханических аналогов, можно сделать заключение о завершении столетнего пути развития теории механического сейсмографа или механического колебательного звена сейсмоприёмника.

Геофизическому сообществу осталось сделать совсем немного:

- внести изменения в соответствующий раздел учебника по сейсморазведке, изложив в нём вывод уравнения движения сейсмоприёмника в инерциальной или неинерциальной системе координат;

- принять новое соглашение в сейсморазведке, т.к. существующее (при движении сейсмоприёмника вверх на его выходе действует отрицательный сигнал), увековечило ошибки Е. Вихерта при выводе уравнения движения механического сейсмографа в [11].

Литература

1. К. Аки, П. Ричардс. Количественная сейсмология. М.: Мир, 1983.
2. Гамбурцев Г. А. Сейсмические методы разведки. Часть первая. Теория сейсмической аппаратуры. - М.: Объединенное научно-техническое издательство НКТП СССР. - 1937.
3. Конторович М. И. Операционное исчисление и процессы в электрических цепях. - М.: Наука. - 1964.
4. Рыжов А. В. К теории механического сейсмоприёмника. // Разведка и охрана недр. - 2005. - № 7.
5. Рыжов А. В. Теоретические исследования сейсмоприёмников // Геофизика. М.: Издательство Герс. - 1997. - № 3.
6. Рыжов А. В. Электродинамический трёхкомпонентный сейсмоприёмник ускорений. // Приборы и системы разведочной геофизики. - Саратов. 7. Издательство Полиграф-Депо. - 2004. - № 4.
8. Теория автоматического управления. Часть 1. Под редакцией Воронцова А. А. - М.: Высшая школа. - 1977.
9. Хайкин С. Э. Физические основы механики. - М.: Физматлит. - 1963.
10. Шведчиков Л. К. Теория электродинамического сейсмоприёмника с учётом индуктивных связей между обмотками и проводящим каркасом подвижной катушки. // Прикладная геофизика. - М.: Недра. 1979. - Вып. 95.
11. Wiechert E. Theorie der automatischen Seismographen. - Berlin. Weidmannsche Buchhandlung. - 1903.

Предприятие «ОЮ-ГЕО Импульс Интернэшнл» – это современный приборостроительный завод, оснащенный передовым технологическим оборудованием. Здесь за последние 4 года осуществлена широкая программа технического перевооружения. Так, только за 2006 год на предприятие приобретено и запущено 20 единиц современного технологического оборудования на общую сумму 29 млн. руб., внедрены передовые технологии по механообработке, гальванопокрытиям, сборке приборов и контролю качества их параметров.

Основной вид выпускаемой продукции на предприятии – это электродинамические сейсмоприемники (приборы для сейсморазведочных работ по поиску нефтегазовых месторождений) модели GS-20 DX, GS-30 CT, GS-32 CT.

Конструкция и технология по производству данных приборов была предоставлена корпорацией «ОЮ-ГеоСпейс» (США). Сейсмоприемник GS-20 DX широко используется во всех геолого-разведочных предприятиях России и стран СНГ и удовлетворяет всем требованиям сейсморазведочных работ.

Сейсмоприемники GS-30 CT и GS-32 CT – приборы нового поколения, отвечающие повышенным требованиям международных стандартов. Эти приборы полностью реализуются в дальнейшем зарубежье.

Характер производства на предприятии массовый и крупносерийный. Так, в 2006г. изготовлено и реализовано:

- сейсмоприемников GS-20 DX – 505 тыс.шт.;
- сейсмоприемников GS-30 CT – 124 тыс.шт.;
- сейсмоприемников GS-32 CT – 231 тыс.шт.

Всего реализовано 860 тыс.шт. приборов, в т.ч. 355 тыс.шт. геофонов реализовано в дальнейшем зарубежье (41,0%).

На 2007г. поставлена задача изготовить и реализовать свыше 1 млн. шт. таких приборов.

Устройство сейсмоприемников GS-20 DX; GS-30 CT и GS-32 CT.

Современный сейсмоприемник (геофон) для проведения полевых сейсморазведочных работ (Рис.1), представляет собой особо точный измерительный инструмент, включающий в себя:

- прочный корпус из полиамидных материалов «нурамид», выдерживающий механические нагрузки при -60 С;
- преобразовательный блок или чувствительный элемент;
- резиновый штуцер, изготовленный из материала марки ИНО – 68, в качестве уплотнительного элемента, обеспечивающего герметичность корпуса и соединительного кабеля, сохраняет прочность и эластичность до -50 С;
- печатную плату для соединения токопроводящих жил кабеля с преобразовательным блоком и шунтом;
- металлический штырь для обеспечения надёжного контакта с грунтом;
- преобразовательный блок (чувствительный элемент)

Преобразовательный блок (Рис. 2) имеет



Рис.1. Сейсмоприёмник GS-32 DX в наземном сухопутном корпусе

прочный металлический корпус, выполняющий роль внешнего магнитопровода. Корпуса изготавливаются методом горячего литья из металла ЦАМ-А4. Снизу и сверху корпус герметично закрыт крышками методом прессовой завальцовки. На верхней крышке датчика зачеканены два гермовывода для электрической связи катушки индуктивности с кабелем.

Во внутренней полости корпуса установлен постоянный магнит из ферромагнитных материалов с полюсными наконечниками. Через них он жестко скреплён с крышкой и дном корпуса блока.

Между корпусом и постоянным магнитом установлена 2-х секционная катушка индуктивности с намоточным проводом. Концы провода соединены пайкой с гермовыводами через спиральные «нити» из серебряной проволоки.

Каркас катушки выполнен с учётом разделения намоточного провода на две последовательно соединённых, обеспечивающих синфазное сложение электродвижущей силы индукции. Изготавливается каркас из алюминиевого сплава В-95 по токарно-фрезерным технологиям, после чего подвергается твердому анодированию. Толщина покрытия составляет от 22 до 27 микрон и выдерживает на электрический пробой до 500 В.

Каркас с намоточным проводом, являясь катушкой индуктивности, выполняет и роль инертной массы преобразовательного блока. Крепление катушки индуктивности внутри датчика осуществляется через верхнюю и нижнюю плоские пружины.

Такая пружинная подвеска обеспечивает инертной массе вертикальные смещения колебания относительно корпуса геофона при воздействии на него колебаний грунта.

Основные характеристики преобразователь-

И С Н О В А О С Е Й С М О П Р И Е М Н И К А Х . . .
П Р И Б О Р Ы И С И С Т Е М Ы

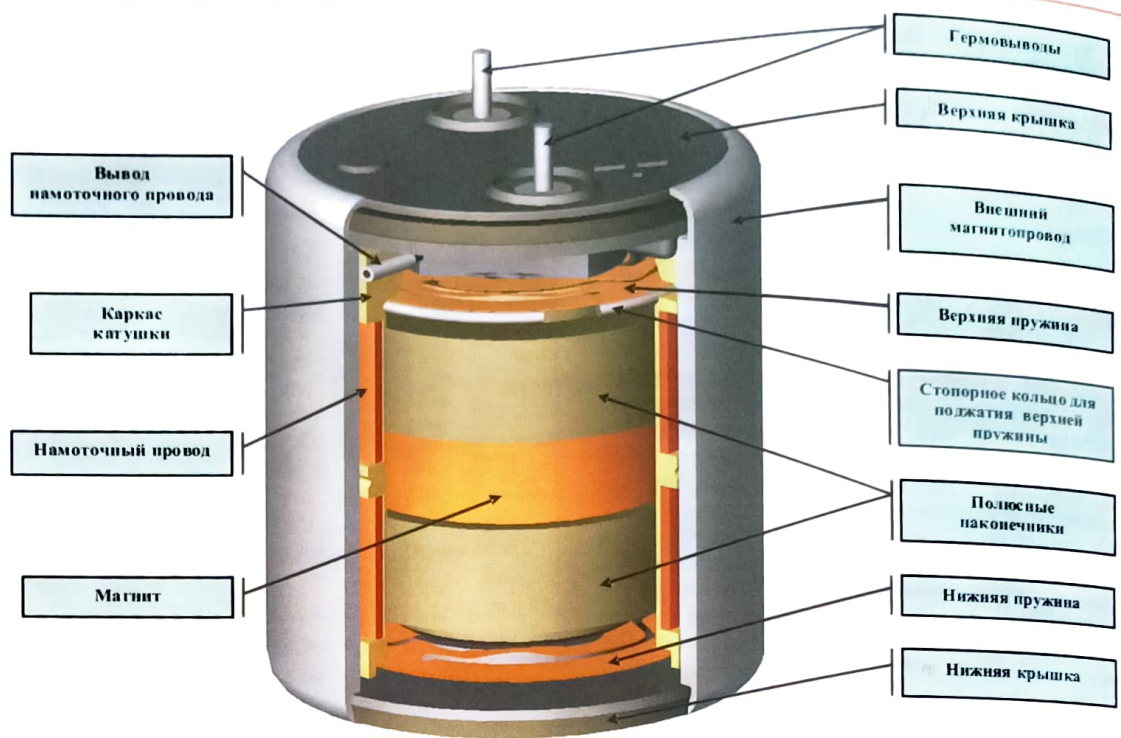


Рис.2. Сейсмоприемник GS-32CT (преобразовательный блок)

ных блоков сейсмоприемников GS-20 DX; и GS-32 CT приведены в статье А.М. Качагина (см. стр. настоящего выпуска)

На предприятии внедрена комплексная система контроля качества изделий. На всех этапах производства, начиная с входного контроля материалов и комплектующих, сейсмоприемники в процессе сборки проходят многократный контроль всех параметров. Тестирование происходит на тестирующих комплексах, поставленных из США.

Тщательный контроль качества позволяет давать 3-х летнюю гарантию на сейсмоприемники. Обычный срок службы составляет 10 лет. Нам приходилось тестировать при проведении многократных сервисных работ сейсмоприемники и после 10 лет эксплуатации в поле. При этом процент отхода по 1-2 параметрам был не более 12%.

На заключительном этапе изготовления, для обеспечения стабильного и надежного качества работы, все сейсмоприемники подвергаются полному контрольному измерению-тестированию на специальном автоматизированном комплексе по всем параметрам с жесткими допусками до $\pm 2,5\%$:

- по омическому сопротивлению катушки;
- по степени затухания;
- по чувствительности и частоте.

Для проверки и анализа искажений, определяются уровни трех гармонических составляющих тестирующего напряжения с частотами 12 Гц, 24 Гц, 36 Гц.

Все параметры сейсмоприемников проверяются как в нормальном вертикальном положении, так и в наклонном положении под углом до 20° . Этот процесс осуществляется с трехкратным повторением и выдачей распечатки контрольного протокола в котором имеется индивидуальная информация о каждом параметре сейсмоприем-

ника и о его годности или забраковании.

Забракованные сейсмоприемники подвергаются полной разборке для проведения анализа причины отказа какого-либо параметра.

Исходя из приоритета надежности и качества выпускаемой продукции, на этапе изготовления и сборки постоянно учитывается важнейшая особенность сейсмоприемника — он должен иметь очень прочную конструкцию и выдерживать суровые динамические нагрузки в процессе эксплуатации. С целью обеспечения гарантийной работоспособности приборов в полевых условиях, ежедневно 1% от общего количества изготовленных за рабочую смену геофонов подвергается специальному испытанию на искусственное «старение» посредством дозированного ударного механического воздействия.

Это делается в так называемом галтовочном барабане, который представляет собой шестиугольный контейнер, вращающийся с определенной скоростью относительно центральной оси. В контейнер помещаются сейсмоприемники в сборе. При его вращении происходит падение геофонов на внутреннюю поверхность контейнера с определенной высоты и их хаотичное соударение друг с другом. Испытания проводятся в течение 3-х часов. За это время процедура повторяется два раза по 45 мин и один раз 90 мин. Каждые 45 мин механического воздействия в такой технологии старения соответствуют 3-м годам эксплуатации в полевых условиях.

Через каждые 45 мин сейсмоприемники изымаются из барабана и подвергаются полному тестированию по всем параметрам. При их соответствии установленным номиналам вся суточная партия считается годной к эксплуатации и передается на склад готовой продукции. При несоответствии номиналу хотя бы одного параметра отказавший сейсмоприемник подвергается вскрытию и разборке, для проведения анализа

Таблица 1. Сейсмоприемник GS – 32СТ. Нелинейные искажения под воздействием ударных нагрузок в течение 10 часов подряд

№ прибора	Исходное состояние по КНИ после сборки	Контрольные замеры, время воздействия ударных нагрузок (мин) и срок эксплуатации сейсмоприемника (год)					
		1	2	3	4	5	6
		0	0	0	0	0	0
	0	45	90	180	360	540	600
	0	3	6	9	12	15	18
№1	0,07	0,07	0,06	0,08	0,09	0,07	0,08
№2	0,02	0,04	0,04	0,07	0,07	0,08	0,07
№3	0,03	0,04	0,05	0,05	0,07	0,07	0,06
№4	0,03	0,06	0,07	0,08	0,06	0,09	0,06
№5	0,07	0,08	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10
№6	0,06	0,08	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10
№7	0,08	0,04	0,06	0,10	0,09	0,09	0,10
№8	0,06	0,09	0,07	0,08	0,09	0,10	0,10
Допустимый КНИ	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

отказа и принятия решения по повторному тестированию всей суточной партии.

Наиболее важным параметром в этих испытаниях является КНИ как основной показатель длительной работоспособности сейсмоприёмника.

Надёжность и длительная устойчивость прочностных характеристик, отвечающих жёстким условиям полевой эксплуатации, по изменению гармонических искажений наглядно отражены в таблице 1.

Большое внимание уделяется обеспечению

стабильности климатических условий для работы оборудования, оснастки и их поверки, подтверждению квалификации исполнителей и аттестации рабочих мест. Так как, несмотря на достаточно простую конструкцию и технологию сборки сейсмоприёмника, он требует высокого качества всех комплектующих деталей — незначительное отклонение размеров любой комплектующей детали, в пределах хотя бы одной сотки, приводит к несоответствию всех исходных номинальных параметров сейсмоприёмника.



представляет



PG-32 Компактный OEM GPS приемник для встраиваемых применений

Особенности реализации

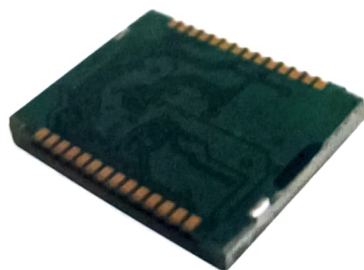
- Построен на базе набора микросхем SiRF Star III
- Компактный дизайн: 24x20x2.6 мм
- Предназначен для автоматизированной установки методом поверхностного монтажа
- Аппаратно совместим с программным обеспечением SiRF GSWS 3
- Дополнительные контакты ввода/вывода зарезервированы для специальных применений

Спецификация

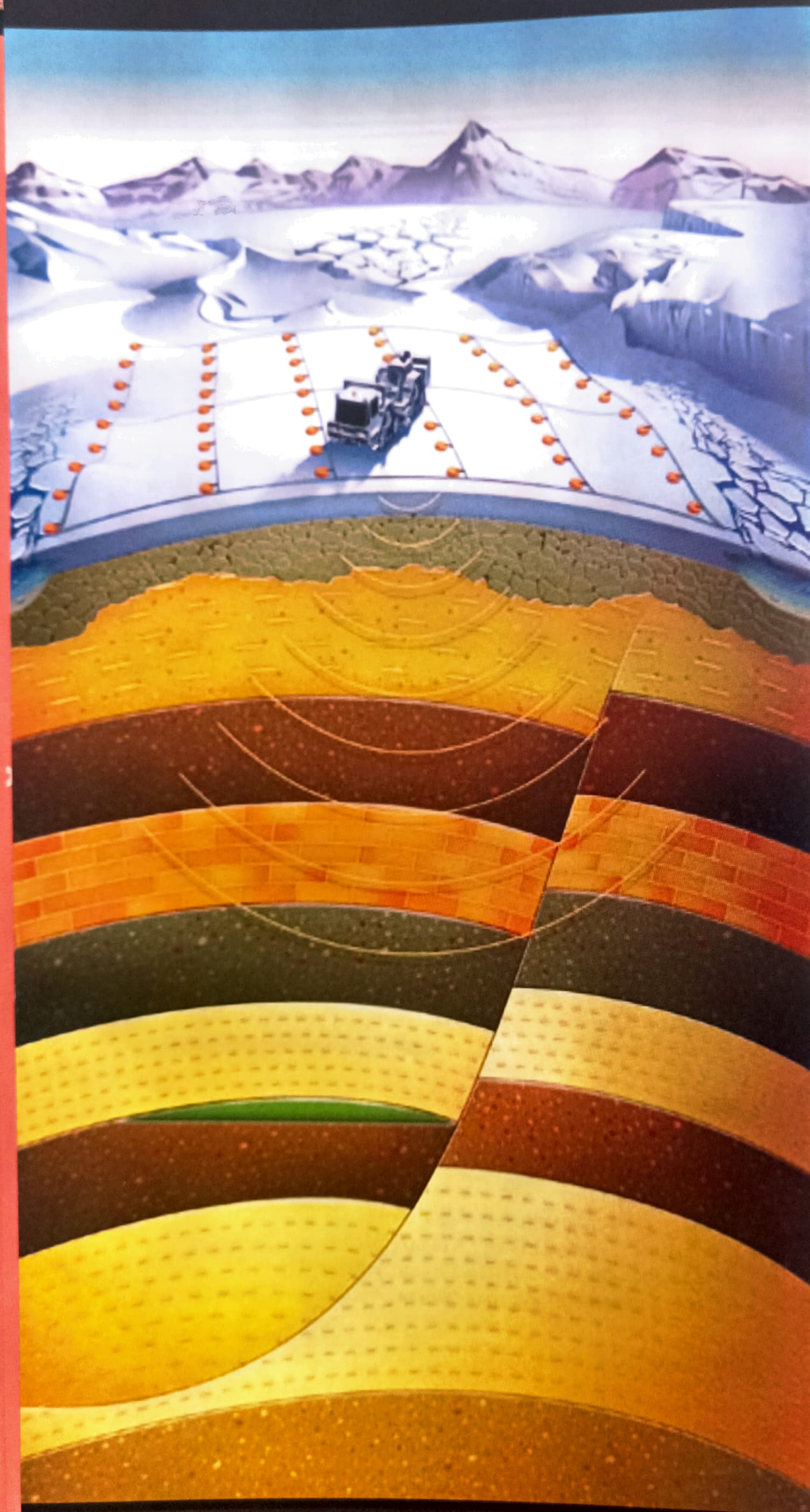
- Время холодного/теплого/горячего старта: 42/38/1 сек
- Время обновления координат: 0.1 сек
- Металлический помехозащитный экран
- Протоколы: NMEA-0183, SiRF Binary, AI3/F
- Интерфейс: последовательный порт уровня TTL
- Скорость передачи: настраиваемая от 4800 до 57600 Бод

Преимущества

- Высокая чувствительность, низкое энергопотребление
- Идеален для встраивания в серийную продукцию
- Экономичная установка за счет избавления от высокочастотных и цифровых разъемов
- Гибкий дизайн позволяет быстро адаптировать приемник для различных применений



Вечная мерзлота в Арктике? Положитесь на многоволновую сейсморазведку.



Сложные условия работ

Короткий зимний полевой сезон ограничивает возможности. Жесткие требования к работе в окружающей среде требуют использования специального оборудования и технологий. Резкие приповерхностные аномалии искажают сейсмические изображения.

Многоволновые технологии компании I/O



VectorSeis - отмеченный наградами трехкомпонентный цифровой датчик. Широкая полоса частот, высокоразрешенные данные без группирования. Повышенная производительность полевых работ в наиболее сложных поверхностных условиях.



Scorpion® - регистрирующая система с дружелюбным интерфейсом. Поддерживает очень высокую каналность, широкоазимутальные съемки с максимальной эффективностью и надежностью.



Революционные процедуры обработки, такие как AZIM™, для анализа сейсмической анизотропии. Преимущества регистрации полного волнового поля используются для улучшения изображений среды в случае сложной глубинно-скоростной модели.



www.i-o.com/full-wave

Многоволновое отображение среды. Возьмите это на вооружение.

Повышение производительности наземных кабельных регистрирующих систем

INPUT/OUTPUT

Введение

Помимо обеспечения самого высокого качества сейсмических данных, геофизические компании также нацелены на достижение и высокой производительности, чтобы выполнить полевые работы в срок и в рамках предусмотренного бюджета. В настоящее время производители сейсмического оборудования выпускают регистрирующие системы с целым рядом возможностей для обеспечения высокой эффективности в поле. Таким примером может служить «Scorpion» - наземная кабельная регистрирующая система, недавно выпущенная корпорацией Input/Output. Система «Scorpion» может использоваться в самых сложных полевых условиях - Сахара, Арктика или бассейн Амазонки и включает несколько новых функций, предназначенных для расширения возможностей регистрации данных, повышения надежности и простоты в использовании. Ниже приводится пример, как возможности системы «Scorpion» могут помочь сейсморазведочным компаниям повысить производительность полевых работ.

Задача - эффективное использование нескольких групп вибраторов и преодоление условий сильного статического электричества

В таких поверхностных условиях, как пустыни или открытые равнины, часто предоставляется возможность выполнять сейсморазведочные работы с несколькими группами вибраторов, чтобы повысить производительность полевых работ. Этот подход может быть очень эффективным, если есть возможность сократить время между обработкой виброточек до абсолютного минимума.

Отдельная задача в таких условиях - это обеспечение бесперебойной регистрации данных

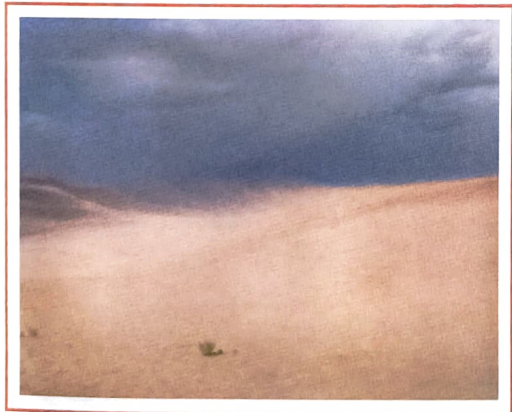
Возможность преодоления таких проблем позволит сейсморазведочным компаниям максимально повысить производительность полевых работ.

Решение - система «Scorpion», новое поколение наземной кабельной регистрирующей системы корпорации I/O

Система «Scorpion» включает функции, специально разработанные для повышения производительности и исключения помех при регистрации в таких полевых условиях как пустыни. Почти нулевое время ожидания между обработкой точек возбуждения позволяет эффективно использовать несколько групп вибраторов. Совершенная наземная электроника и автоматизированное программное обеспечение центральной электроники исключают необходимость создания супер-расстановок путем обременительного добавления межлинейных кабелей. Система исключает необходимость команд на формирование линий, что позволяет мгновенно переключать приемную расстановку. Если ваши полевые работы можно организовать так, чтобы группа вибраторов была всегда готова к возбуждению свип-сигнала до завершения отработки текущей виброточки, система «Scorpion» может прогнозировать время начала следующего свип-сигнала с почти нулевой задержкой. Конечный результат - возбуждение вибросигналов происходит 99% времени в результате отсутствия времени ожидания готовности регистрирующей системы.

Насколько больше виброточек в день можно обработать с системой «Scorpion»? Допустим, партия использует поочередно работающие группы вибраторов с 13-секундными свипами, без накопления, 9 часов в день. И имеющаяся у вас регистрирующая система обладает 2-секундным временем ожидания между обработкой виброточек. Хотя такое время ожидания может показаться небольшим, его суммарное влияние на производительность значительно. При почти нулевом времени ожидания в системе «Scorpion», она обеспечивает на 10% больше виброточек в день, 3 дополнительных рабочих дня в месяц и 5 дополнительных недель в год, в которые компания зарабатывает прибыль.

Дополнительное повышение производительности



как можно дольше в условиях песчаных бурь и запыленного воздуха, что создает условия высоко-го статического электричества. В таких условиях во многих регистрирующих системах наблюдаются сбои в телеметрии, которые приводят к тому, что полученные данные характеризуются всплесками высокоамплитудных помех, и в конечном итоге регистрацию данных приходится приостанавливать.

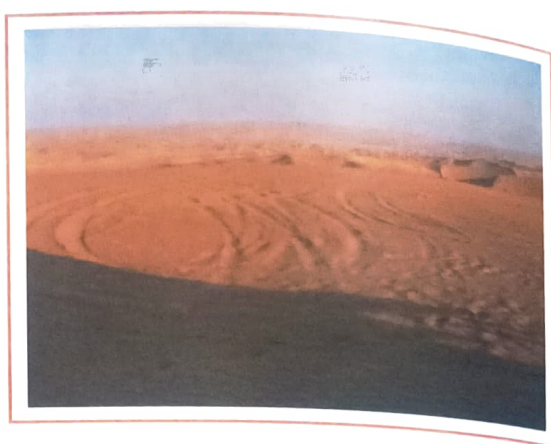
И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ...
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ти может быть достигнуто со стандартными настройками системы «Scorpion» на площадях, характеризующихся высоким уровнем электростатических помех. Надежная телеметрическая передача команд в системе «Scorpion» исключает погрешности времени синхронизации, а совершенная архитектура телеметрии обнаруживает прерывание передачи данных и повторно пересылает пакеты данных. Эта возможность обеспечивает запись данных без помех. Таким образом, исключаются просечки и импульсные помехи при работе системы в подобных условиях. Больше нет необходимости удалять эти просечки с помощью последующей интерполяции или редактировать импульсные помехи, что позволяет экономить время. И последнее: система «Scorpion» гарантирует целостность данных, благодаря контролю качества пакетов данных в каждом регистрирующем блоке.

Результаты — больше ПВ в день, данные без помех

Сеймопартии, работающие в условиях пустынь и открытой местности, часто вынуждены прерывать регистрацию данных при усилении ветра, когда начинаются песчаные бури, и песок и пыль создают условия высокого уровня электростатических помех. В некоторых случаях полевые работы останавливаются на несколько дней. Архитектура телеметрии системы «Scorpion» и ее надежная телеметрия передачи команд позволяют партиям работать в условиях, в которых не могут работать никакие другие конкурирующие системы. Возможность повторной передачи пакетов данных также означает, что просечки и другие помехи не будут проблемой при регистрации данных в таких условиях.

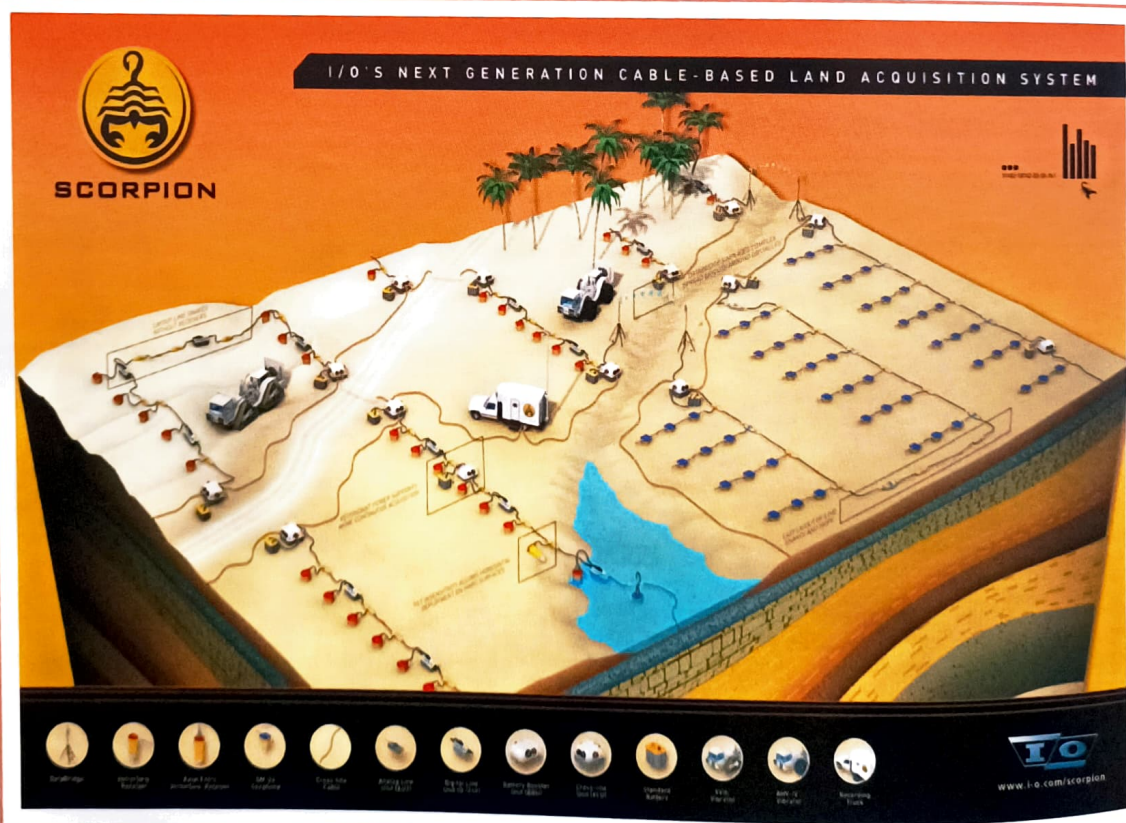
Мгновенное переключение приемной расстановки в системе «Scorpion» означает, что сеймопартии могут максимально увеличить



количество ПВ, обрабатываемых в день, при использовании нескольких групп вибраторов. Конкурирующие регистрирующие системы имеют 2-3 секунды задержки между обработкой виброточек. У системы «Scorpion» время задержки близко к нулю, что означает, что вы можете регистрировать больше виброточек в день.

Вывод — система «Scorpion» повышает производительность в сложных полевых условиях

Система «Scorpion» позволяет обрабатывать больше ПВ в день благодаря мгновенному переключению приемной расстановки и устойчивой работе в условиях сильного статического электричества. Большее количество ПВ в день дает экономические преимущества по сравнению с партиями, использующими конкурирующие системы. И регистрация данных более высокого качества системой «Scorpion» означает, что ваши заказчики из нефтяных и газовых компаний имеют возможность найти больше залежей и снизить риск их разведочных программ и бурения.



А.А. Качагин, "ОЮО-ГЕО Импульс Интернэшнл", г. Уфа

Осознавая высокую потребность отечественной сейсморазведки в новой технике, предприятие ОЮО-ГЕО Импульс постоянно уделяет внимание совершенствованию выпускаемого и созданию нового оборудования, способного обеспечивать высокую информативность полевых данных при малых экономических затратах.

Одним из более существенных примеров новых разработок предприятия являются высокопроизводительные приемные буксируемые самоориентирующиеся системы с канальными отводами, позволяющие вести приём сейсмических колебаний практически без участия человека в процедуре полевой расстановки. Проводимые промышленные испытания наглядно продемонстрировали надёжность эксплуатации таких систем и возможности снижения экономических затрат при проведении полевых сейсморазведочных работ.

За прошедший с момента создания этого изделия период, была проделана большая работа по его модернизации и совершенствованию. Увеличены прочностные характеристики кабельных отводов с усилием на разрыв до 2-х тонн без применения металлического троса. Улучшена надёжность электрических соединений токосъёмного механизма с общим магистральным кабелем, что повысило отношение «сигнал/помеха». Отработана надёжность механической части самоориентирующегося карданного подвеса для снижения чувствительности применяемых сейсмоприёмников к шумовым помехам.

На буксируемых системах были апробированы новые современные высокоточные модели сейсмоприёмников GS-32CT с параметрами, отвечающими требованиям современных 24-битных полевых систем сбора данных.

Преимущества этой модели сейсмоприёмника в сравнении со старой GS-20DX наглядно отражено в таблице 1.

Сегодня предприятие готово предлагать геофизическим компаниям одно-, двух- и трёхкомпонентные самоориентирующиеся системы с любой конфигурацией сейсмических буксируемых кос, позволяющих с наибольшей эффективностью:

- применять их для труднодоступных и малоглубинных исследований верхней части горизонтов по профилям МОГТ в рамках 2D, 3D и 4D технологий;

- осуществлять непрерывное, детальное и ускоренное проведение сейсморазведочных работ;

- применять их для осуществления длительного мониторинга околоскважинного пространства в промысловых зонах.

Доказательством востребованности этого изделия являются заказы, поступающие на предприятие от многих геофизических организаций. Но, к сожалению, большая часть заказов по этому изделию приходится на зарубежные геофизические компании, которые действительно широко применяют такие системы в полевой практике. Остается надеяться, что дальнейшее

Таблица 1. Технические характеристики серийных геофонов GS – 20DX и GS – 32CT

Геофон*	GS – 20DX	GS – 32CT
Собственная частота (Fn), Гц	10 ± 5 %	10 ± 2,5 %
Верхний предел частоты пропускания, Гц	> 250	> 250
Сопrotивление катушки (Rc), Ом	395 ± 5 %	395 ± 2,5 %
Гармоническое искажение на частоте 12 Гц	< 0,2 %	< 0,1 %
Чувствительность (G), В/м/с	27,6	27,5
Чувствительность при 70% затухании, В/м/с	19,7 ± 5 %	19,7 ± 2,5 %
Степень затухания в открытой цепи	0,3	0,316
Степень затухания с шунтом 1 кОм	0,7 ± 5 %	0,7 ± 2,5 %
Постоянная затухания (Rt*Bc)	549,4	536
Масса подвижной части, г	11	11,2 ± 2,5 %
Рабочий диапазон температур, °C	- 45...+ 80	- 45...+ 100

* Параметры замерыны при температуре 25°C и углах наклона от 0° до 20°C.

развитие технологий полевой отечественной сейсморазведки и актуальность вопросов повышения её экономической эффективности создадут необходимые предпосылки для востребованности таких технических средств и в России.

На основе донного изделия на предприятии успешно начинает разрабатываться, производиться и внедряться в инженерную геофизику скважинные сейсмические косы для малоглубинных технологий ВСП. Предприятием уже реализованы два заказа скважинных кос с однокомпонентными и двухкомпонентными сейсмодатчиками. Конструкция изделия лёгкая, компактная и удобная в эксплуатации. С простым и надёжным пружинным прижимом, обеспечивающим надёжный контакт с грунтом по вертикали. Это направление на предприятии набирает всё большие темпы развития.

Дополнительным новшеством на предприятии, является разработка компактного тестера «Обрывискателя» ТОК-01, предназначенного для определения скрытого под изоляцией места обрыва токопроводящих жил сейсмического кабеля. Тестер прост и надёжен в применении. Наличие штепсельной индикации позволяет пользователю быстро и с точностью ± 5 мм определять место обрыва. При его использовании требуется только провести кабель в зоне его уловителя обрыва. Тестер имеет автономное аккумуляторное питание и комплектуется зарядным устройством. В условиях полевых сейсморазведочных работ он будет хорошим и надёжным инструментом для проведения ремонтных работ.

И СНОВА О СЕЙСМОПРИЁМНИКАХ...
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Перспективы повышения точностных и чувствительных параметров сейсмоприемников

Ю.П. Петров, Пермский государственный университет, г.Пермь

В данной статье мы рассмотрим перспективный класс сейсмоприемников на основе магнитных подвесов и исследуем их точностные и чувствительные параметры.

Как известно, у классического механического сейсмографа, входящего в состав почти любого сейсмоприемника генераторного ряда, существует зависимость между собственной частотой f_0 и диапазоном преобразуемых им частот, при котором выходной сигнал не искажен и постоянен. Таким образом, исследование всего спектра сейсмических волн, используемого в разведочной геофизике, возможно только в том случае, если используется некоторый набор сейсмоприемников с различными собственными частотами. Но в этом случае необходимо принимать во внимание их цену. Диапазон цен настолько широк (от \$ 10 до \$ 1000 и более), что высокая цена на низко- и высокочастотные сейсмоприемники практически не позволяет использовать их в широкой практике сейсморазведочных работ.

Сейсмоприемники на основе пассивных магнитных подвесов (ПМП).

Повышение магнитов с удельной энергией до 250 кДж/м³ позволило пересмотреть традиционные принципы конструирования сейсмоприемников. Энергии магнитов оказалось достаточно для того, чтобы заменить механическую пружину на магнитную и обеспечить необходимую собственную частоту, затухание и соответствующий коэффициент преобразования. Кроме того, новая конструкция привела к появлению нового качества. По утверждению Ю.А. Иוריша (1963 г.), магнитная пружина не обладает массой и для нее не существует гармоник, присущих механическим пружинам. Это обеспечивает устройству широкий сейсмический диапазон. Отсутствие механических пружин предполагает большую стабильность и механическую прочность устройств.

На устройства, в которых механическое взаимодействие тел обусловлено посредством магнитных полей (пондеромоторное взаимодействие) получены авторское свидетельство [1] и серия более поздних патентов. Подвесы, в которых инерциальная масса уравнивается постоянными магнитами, относят к постоянным магнитным подвесам (ПМП).

Опытная партия сейсмоприемников, изготовленная в соответствии с патентом № 2017175 Россия, МКИ G 01 V 1/16, была внедрена в ПО "Пермнефтегеофизика".

Пермской научно-производственной приборостроительной компанией на основе патента № 2018155 Россия, МКИ G 01 V 1/16 изготовлена серийная модель сейсмоприемника на ПМП – СВ-10-11.

Конструкция (рис. 1) содержит корпус 1, инерциальную массу 2 в виде постоянного магнита, катушку 3, соединенную с корпусом, магнитопровод 5, демпфер 6, растяжку 4, стержень 7, каркас катушки 8.

Соединение массы 2 с растяжкой 4 посредством стержня 7 представляет собой горизонтальный маятник, в котором растяжка 4 выполняет роль шарнира, а маятник имеет одну степень вращения вокруг оси растяжки 4. В конструкции момент силы тяжести магнита 2 компенсируется моментом пондеромоторной силы со стороны магнитопровода

5. Растяжка 4 центрирует оси подвижного магнита 2 и магнитопровода 5 на одной прямой.

Исследования показали, что все параметры сейсмоприемника СВ-10-11 соответствуют ГОСТу 28134-89 "Сейсмоприемники электродинамические". Основные результаты разработок и исследований конструкций сейсмоприемников опубликованы в журнале РАН "Геофизическая аппаратура".

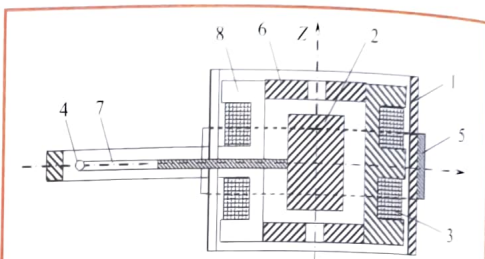


Рис. 1. Блок-схема сейсмоприемника на ПМП

[2], а позднее обсуждались в целом ряде прикладных журналов и на конференциях.

Проведены сравнительные измерения выходных сигналов сейсмоприемников СВ-10-11 (10 Гц, Пермь), GS-20-DX (10 Гц, Уфа), СВ-10-Ц (10 Гц, Уфа), JF-20-DX (10 Гц, Китай) при воздействии на них внешней силы с частотой от 20 Гц до 1000 Гц. Испытуемые сейсмоприемники устанавливались одновременно на вибратционный стол, имитирующий сейсмические волны со скоростью 0,01 м/с в диапазоне частот f до 1000 Гц. Результаты испытаний приведены на рис. 2. Из графиков видно, что у механических сейсмоприемников (GS-20-DX, JF-20-DX, СВ-10-Ц) коэффициент электромеханической связи W непостоянен в области свыше 190 Гц. График СВ-10-11 линеен до 1000 Гц. Очевидно, искажения коэффициента при частоте воздействия более 190 Гц связано с резонансами механических упругих элементов сейсмической системы сейсмоприемников. Линейность графика СВ-10-11 объясняется отсутствием резонансов.

Технологичность базовой модели отработана при изготовлении различных групп и типов сейсмоприемников, выпущены партии резонансных сейсмоприемников на одиннадцать собственных частот (наибольшая частота 91,4 Гц); сейсмоприемников горизонтального и вертикального типов (частота 8 Гц); высокочувствительных сейсмоприемников ($W=200$ В/м/с); сейсмоприемников на собственную частоту 20 Гц.

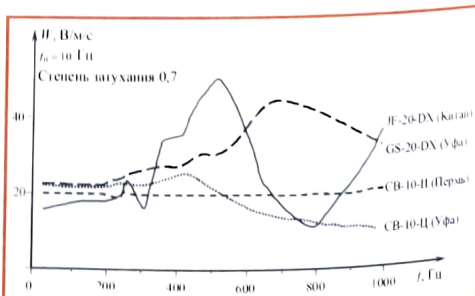


Рис. 2. Амплитудно-частотная зависимость для сейсмоприемников СВ-10-Ц, GS-20-DX, JF-20-DX, СВ-10-11

В Пермской научно-производственной приборостроительной компании прошли лабораторные испытания сейсмоприемники на частоту собственных колебаний 1 Гц, которые конструктивно незначительно отличаются от базовых, а следовательно, в производстве будут обладать небольшой стоимостью.

Сравнительные полевые испытания наших сейсмоприемников СВ-10-II и Уфимского GS-20-DX, проведенные в ПО "Пермнефтегеофизика", показали, что у СВ-10-II лучшее соотношение сигнал-помеха.

Один из основных параметров сейсмоприемников – коэффициент нелинейных искажений (КНИ). У сейсмоприемников GS-20-DX он не превосходит 0,2%, у СВ-10-II не превышает 0,04–0,03%. Основной вклад в КНИ механического сейсмографа вносят высшие гармоники, возникающие в процессе деформации его упругих элементов. Отсутствие таких гармоник у сейсмоприемников на магнитном подвесе приводит к очень малому КНИ.

По остальным параметрам базовая модель позволила изготавливать сейсмоприемники с относительной погрешностью: по сопротивлению – $\pm 2\%$, по собственной частоте – $\pm 2\%$, по демпфированию – $\pm 6\%$, по коэффициенту преобразования – $\pm 4\%$ (все параметры сейсмоприемников исследовались тестером SMT-200).

Внедренная в серийное производство на Пермской приборостроительной компании конструкция сейсмоприемника обладала существенным недостатком. Она не была предназначена для выпуска больших серий в короткое время. С этой проблемой предприятие столкнулось, когда необходимо было изготовить более 200 000 шт. Поэтому, в настоящее время перед автором стоит задача разработки конструкции, которую можно поставить на конвейерную сборку, заводом обеспечив самую низкую выпускную цену.

Сейсмоприемники на основе совмещенных электромагнитных подвесов (СЭМП)

Устройства, использующие силовые свойства постоянных магнитов и соленоидов и уравновешивающие вес тела, относятся к электромагнитным подвесам (СЭМП).

Конструкция СЭМП эффективно использована в разработке многофункционального, высокоточного и малогабаритного сейсмоприемника. Частота собственных колебаний левитирующей массы подвеса определялась из соотношения:

$$f_0^2 = \frac{1}{4\pi^2 m} / (\Pi\eta - \gamma)$$

В разработанном макете, описание которого опубликовано в 1994 и 2000 гг. [2], масса составляет $1,32 \cdot 10^{-2}$ кг. Постоянный магнит из SmCo_5 в форме диска имеет диаметр $1,2 \cdot 10^{-2}$ м, длину $5 \cdot 10^{-3}$ м. Параметр γ , определяющий крутизну силовой характеристики постоянного магнита, в соответствии с расчетами и далее подтвержденный в экспериментах, принят равным 63,85 Н/м. Подвешивающие соленоиды со средними диаметрами от $1,5 \cdot 10^{-2}$ м до $3 \cdot 10^{-2}$ м и высотой $5 \cdot 10^{-3}$ м имеют разную плотность намотки и определяют постоянную соленоида Π от 1 до 10 н/А. Изменение η для различных соленоидов регулирует частоту собственных колебаний подвешенного тела в пределах от 1 до 60 Гц (рис. 3), что позволяет конструировать многодиапазонный сейсмоприемник [3].

Другая возможность регулирования циклической частоты возникает из рассмотрения зависимости f_0 от γ . Исследованиями [4] установлено, что полная компенсация массы тела в двойном

соленоиде при встречном включении обеспечивает зону практически постоянной силы тяги с очень малой крутизной силовой характеристики. Пользуясь методом эквивалентного соленоида и заменяя соленоиды постоянными магнитами, можно получить подвес тела с очень малой частотой (теоретически – 0,001 Гц).

Математический анализ работы СЭМП доказывает возможность поддерживать частоту

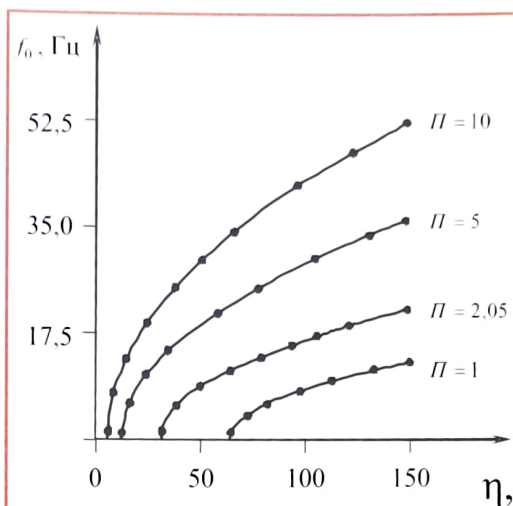


Рис. 3. Зависимость собственной частоты f_0 от параметров η при различных значениях постоянной соленоида Π (н/А)

собственных колебаний инерциальной массы f_0 с относительной точностью $\pm 6 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-4}$, что может быть востребовано при высокоточных сейсмических исследованиях. Полученная точность установки недостижима для механических систем.

На рис. 4 приведена сравнительная запись сейсмических волн от сейсмоприемника на основе СЭМП и низкочастотного электродинамического сейсмоприемника СВ-5. Оба прибора имели собственную частоту 5 Гц. Сравнение записей показывает, что чувствительность СЭМП в 350 раз выше, чем СВ-5 (40 В/м/с). Коэффициент преобразования сейсмоприемника на СЭМП составляет $1,4 \cdot 10^4$ В/м/с.

При анализе свойств сейсмоприемника на СЭМП, проведенных специалистами Третьего центрального научно-исследовательского института Министерства обороны РФ, установлены следующие достоинства: низкий уровень шумов, расширенный диапазон регистрации в области низких частот до 1–2 Гц.

В дальнейшем [5] автор расширил функциональные возможности сейсмоприемника на магнитном подвесе. А именно – создал устройство с регистрацией сейсмических сигналов по осям x, y, z и ориентировкой в определенном азимуте.

В разработанной конструкции сейсмоприемника инерциальная масса вертикальна независимо от больших наклонов корпуса. Регистрация колебаний этой массы производится не только в вертикальном, но и в двух ортогональных горизонтальных направлениях. Таким образом, обеспечивается трехкомпонентность прибора при использовании лишь одной инерциальной массы и ориентации одной из компонент x (либо y) вдоль магнитного меридиана Земли.

Разработка трехкомпонентного самоориентирующегося сейсмоприемника проводилась с целью эксплуатации его в автономном режиме для

И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ... ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

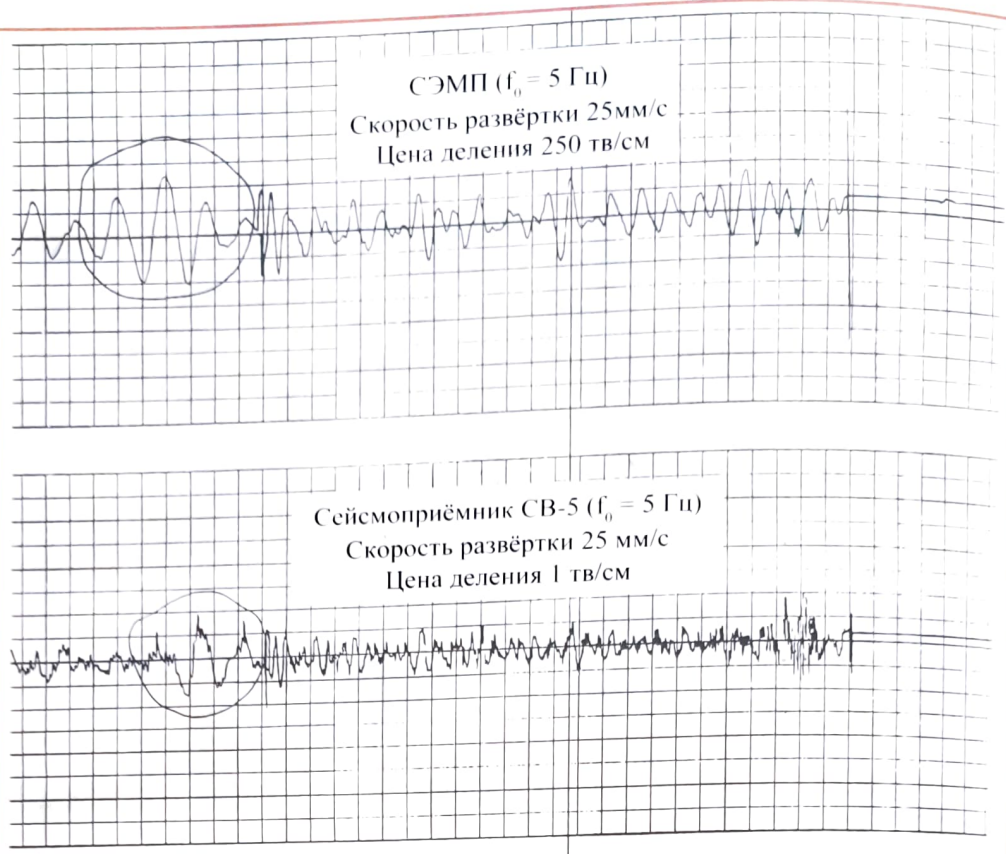


Рис. 1. Сейсмограммы от приемников на основе СЭМП и СВ-5

проведения мониторинговых работ. Электронные компоненты подвеса разработаны с учетом следующих требований: незначительное потребление энергии, малые габариты, высокая стабильность, автономный источник питания. Создана оригинальная электронная схема подвеса с применением микросхем. В описанном электромагнитном подвесе использован соленоид со средним диаметром витков $15 \cdot 10^{-3}$ м, высотой $5 \cdot 10^{-3}$ м, числом витков 3790, провод ПЭВ-0,07. Электромагнитный подвес питается от источника двухполярного напряжения ± 12 В, потреблением тока 12 мА, автономный источник питания 4 батареи "Крона". Автономная работа сейсμοприемника предусматривает телеметрическую передачу механических колебаний с места расположения сейсμοприемника. С этой целью изготовлена УКВ-приставка. Проведенные работы по определению ориентации сейсμοприемника по магнитному меридиану дают основания утверждать, что точность самоориентации сейсμοприемника находится в пределах $\pm 2 \cdot 10^{-4}$ рад.

Высокая точность установки технических характеристик трехкомпонентного самоориентирующегося сейсμοприемника, широкий диапазон регулирования частоты собственных колебаний и затухания послужили предпосылкой к разработке проекта комплекса направленного бурения скважин. Результаты исследований изложены в [6]. Комплекс направленного бурения скважин предполагает наличие геоакустического каротажа, в котором используются сейсμοприемники. Предложен оригинальный способ определения местоположения забоя скважины [7], который может быть осуществлен с использованием резонансных свойств сейсμοприемников на магнитном подвесе [19].

Большая помехозащищенность и высокая чувствительность резонансных сейсμοприемников обеспечивают им нормальную работу в экстре-

мальных условиях, существующих при бурении скважины. В зависимости от условий бурения и используемого бура, частота акустического сигнала, вырабатываемого долотом, может быть различной. Соответственно регулируются частота собственных колебаний и степень затухания упругой системы сейсμοприемника, обеспечивающего геоакустический каротаж. Дополнительно разработанные полосовые фильтры позволяют в еще большей степени подавить помехи и усилить полезный сигнал.

Полученные результаты по повышению точностных и сенситивных параметров сейсμοприемников позволяют расширить область применения магнитных подвесов в геофизических устройствах, что в свою очередь повысит точность поисковых и разведочных геофизических работ на нефть, газ и другие полезные ископаемые.

Литература

1. А.С. 1436079 СССР, МКИ G 01 V 1/16. Сейсμοприемник / Петров Ю.П., Мифтахутдинов Р.К., Новоселицкий В.М., Орлов Л.К., Петрова Л.С., Рочев С.С. // Открытия. Изобретения. № 41. 1988. С.186.
2. Петров Ю.П. Сейсмометрические преобразователи на основе пьезомоторных сил магнитного поля // Геофизическая аппаратура, вып. 99. Л.: РАН, 1994. С.105-112.
3. Петров Ю.П. Гравинерционные технологии в геофизическом приборостроении на основе магнитных подвесов // Тез. докл. на 32 сессии Международного научного семинара имени Д.Г. Успенского, 24-29 января 2005 г., г. Пермь: РАН УрО РАН, Горный институт. С.221-222.
4. О.Г. Качинельсон, А.С. Эдельштейн. Автоматические измерительные приборы с магнитной подвеской. М.: Энергия, 1970.
5. Пат. № 2046374 Россия, МКИ G 01 V 1/16. Самоустанавливающийся трехкомпонентный сейсμοприемник / Петров Ю.П. // Изобретения. № 29. 1995. С.251.
6. Петров Ю.П., Ермаков В.С., Максимов А.Г. Разработка вибросистемного гироскопа для реализации проекта скважинной навигации // Приборы и Системы. Управление. Контроль. Диагностика. № 11. М.: Научтехлитиздат, 2000. С.30-35.
7. А.С. 1698865 СССР, МКИ G 01 V 1/40. Способ определения местоположения забоя скважины / Петров Ю.П., Семенов Б.А. // Открытия. Изобретения. № 46. 1991. С.198.
8. Петров Ю.П. Аппаратурная и методическая организация геоакустического каротажа в комплексе направленного бурения скважин // Приборы и Системы. Управление. Контроль. Диагностика. № 7. М.: Научтехлитиздат, 2005. С.51-54.

Цифровой гидроакустический приемник

Б.В. Кияшко, П.И. Коротин, А.С. Чашин, А.В. Харитонов, Институт Прикладной физики РАН, г. Н.Новгород
Научно-технический центр «Мониторинг», г. Н.Новгород

Потребители датчиков для измерения физических величин постоянно выдвигают все новые и более жесткие требования к разрабатываемым изделиям. Потребитель хочет получать точные и в то же время малогабаритные, многофункциональные, легкоподключаемые и долгоживущие датчики. Для интеграции новых типов датчиков в измерительные системы особое внимание при проектировании приходится уделять унификации интерфейсов. В результате этого сегодня мы видим все большее количество датчиков, в которых совмещены элементы, как аналогового устройства, так и цифрового. При этом цифровое устройство часто выполняет не только роль стандартного интерфейса, идентификатора типа, памяти для хранения номера и чувствительности, но и обработки сигнала. Такие датчики в литературе называются интеллектуальными.

Функция предварительной обработки сигнала принципиально важна при измерении динамических процессов, особенно в ситуациях, когда нужно передать информацию на большое расстояние со значительного числа контрольных точек. Встроенный в датчик сигнальный процессор в состоянии решить подавляющее большинство задач обработки сигнала, тем более, что чаще всего нужна не сама реализация сигнала, а только определенный диагностический признак или параметр.

В данной работе представлен цифровой гидрофон, соответствующий идеологии интеллектуального датчика, на примере которого продемонстрированы преимущества данного типа приборов. Цифровой гидроакустический приемник (ЦГП) внесен в Государственный реестр средств измерений (№28067 ЦГП-3 с 16-ти разрядным АЦП и №33564 ЦГП-4 с 24-х разрядным) и предназначен для измерения акустического давления в водной среде. Конструктивное решение предусматривает возможность собирать из ЦГП кабельные антенны, которые, в частности, пригодны для морской сейсмоакустической разведки. Контроллер ЦГП сертифицирован как отдельное устройство (Блок Анализа Сигналов – БАС, №33576), которое можно использовать в комплекте со стандартными первичными преобразователями, например пьезоакселерометрами, для формирования измерительных комплексов с цифровым распределенным сбором данных.

Представим типовую обобщенную схему интеллектуального датчика (рис.1).

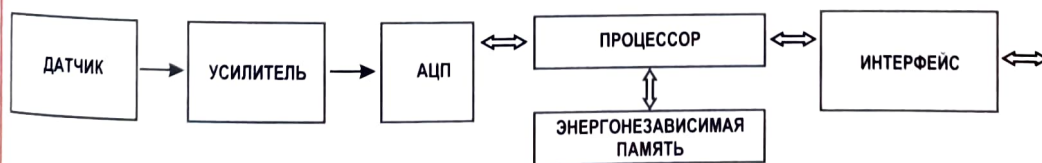


Рис. 1. Структурная схема интеллектуального датчика

Датчик включает в себя следующие элементы:

- первичный преобразователь измеряемой величины в электрическую;

- предварительный усилитель, который является как согласующим, так и нормирующим элементом;

- аналого-цифровой преобразователь для преобразования сигнала в цифровой вид;

- микропроцессор, выполняющий функции обработки и управления;

- энергонезависимую память для хранения конфигурации датчика и, при необходимости, загружаемых программ и отрезков сигнала;

- интерфейс, соединяющий датчик с информационной или измерительной системой.

Сегодня можно выделить две ступени в развитии интеллектуальных датчиков и тем самым провести некую классификацию их "интеллектуальности".

Предприятия используют для управления производством, как правило, набор разнотипных сетей, поэтому наиболее правильным решением является использование датчиков в режиме автоконфигурирования. Сеть сама идентифицирует, какого типа датчик был подключен, какие из его данных доступны, каковы размерности входных и выходных данных (кубические метры в секунду, градусы Кельвина, Паскали, и т.д.), какова спецификационная точность устройства (например, $\pm 2^\circ\text{C}$) и прочую информацию, касающуюся датчика или исполнительного устройства. Такой прием исключает необходимость выполнения программных шагов по конфигурированию сети при замене или добавлении датчика в систему, реализуя тем самым работу в режиме "установка и работа" вне зависимости от типа сети. Этим ограничивается «интеллектуальность» данного типа датчиков.

Между тем для многих применений важным является непрерывный анализ данных с ансамбля измерителей. Общий объем анализируемых данных получается большим и для того, чтобы разгрузить линии передачи, в датчик встраивается сигнальный процессор, который проводит предварительную обработку (десимацию, усреднение, фильтрацию, спектрально-корреляционный анализ и другие операции). В зависимости от конкретной задачи в датчик может быть загружена любая программа по обработке. После обработки данные передаются в центральный компьютер. Структура системы с данного типа датчиками показана на рис.2.

И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ...
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



Микропроцессорные устройства, встроенные в датчик, в этой системе являются контроллерами нижнего уровня. Каждый из них имеет свой идентификационный номер со своей программой. Вся первичная обработка распределена по нижнему уровню, и только готовый результат передаётся контроллеру среднего уровня. Контроллер среднего уровня выполняет несколько функций: маршрутизатора и преобразователя (конвертера) протоколов; локальной диагностики каналов связи с контроллерами датчиков; автономного сбора и накопления данных. Конечная обработка, отображение полученных результатов, организация сетевого обмена, отработка алгоритмов принятия решений и другие задачи возлагаются на управляющую ЭВМ.

Миниатюризация, снижение стоимости микросхем и рост их функциональных возможностей позволяют встраивать чипы во все меньшие по размерам и разнотипные изделия. Преимущества этого очевидны: распределение вычислительных ресурсов повышает надежность системы в целом; перепрограммирование режима работы

и диагностика проводится без демонтажа; совокупность датчиков разного типа размещается на обычной двухпроводной линии без многочисленных экранированных кабелей и дорогих разъемов. Выполнение запрограммированных операций с сигналом (фильтрация, гетеродинирование, детектирование, обнаружение сигнала заданной формы, превышение порога и др.) на несколько порядков разгружает поток передаваемых от датчика данных и устраняет влияние шумов. Цифровой вид передачи устраняет наводки, гарантирует заданный динамический диапазон, унифицирует кабели связи и интерфейс, делает систему легко расширяемой по числу каналов.

Создание цифрового гидрофона и цифровой гидроакустической антенны на их базе – заметный шаг на пути совершенствования приемных гидроакустических систем. Миниатюризация электронных компонент позволила реализовать процессорное устройство, встроенное в гидрофон, которое в состоянии выполнять практически любую обработку сигнала.

Внешний вид цифрового гидрофона и кабель-



а)



б)

Рис. 3. Внешний вид ЦГП: а – одиночный гидрофон; б – многоэлементная приемная система из ЦГП.

ной антенны из ЦГП представлен на рис. 3.

Сформулируем основные преимущества характерные именно для цифровой антенны:

- возможность когерентной обработки сигнала;
- возможность параллельного выполнения нескольких задач;
- полное отсутствие межканальных связей;
- простота увеличения апертуры антенны;
- использование тонкого антенного кабеля, снижающего гидродинамическое сопротивление и вес антенны.

Цифровой гидрофон предназначен для непосредственного измерения звукового давления в водной среде в диапазоне частот от 5,0 Гц до 10,0 кГц. На выходе отдельного гидрофона или антенны может быть получена не только оцифрованная временная реализация сигнала, но и произвольная его функция, например, текущий третьоктавный спектр.

Принцип действия ЦГП, как и обычного гидрофона, основан на применении прямого пьезоэлектрического эффекта пьезокерамического материала, заключающегося в преобразовании действующего на них звукового (акустического) давления в электрический сигнал. Пьезокерамический элемент гидрофона конструктивно



Рис. 4. Пьезокерамический чувствительный элемент.

состоит из двух частей, соединенных последовательно между собой (см. рис.4).

Чувствительный элемент собран по дифференциальной схеме, что уменьшает синфазную электрическую помеху на 50 Гц примерно на 80 дБ. Общая точка пьезокерамических цилиндров заземлена, а с крайних снимается дифференциальный сигнал и подается на предварительный усилитель. Предварительный усилитель и микроконтроллер смонтированы на одной плате (рис.5).

Частота квантования АЦП может быть задана от внешнего источника либо от собственного кварца. Частота квантования, как от внешнего источника, так и от процессора гидрофона перестраивается в пределах от 100 Гц до 64 кГц. Цифровой гидрофон реализован на сигнальном процессоре типа ADSP2185N. Сигнальный процессор программируется и передает данные через последовательный канал стандарта RS-485. Для хранения программ и параметров применяется перепрограммируемое Flash ПЗУ емкостью 128 кБт. Перепрограммирование доступно в реальном времени в динамическом режиме со стороны центрального компьютера.



Рис. 5. Электронная плата цифрового гидрофона.

В многоэлементной приемной системе максимальное количество гидрофонов на одном канале связи - 256. Последовательный канал может быть синхронным и асинхронным. В синхронном режиме используются 3 витые пары для приема сигналов синхронизации, приема и передачи данных и цикловой синхронизации. Для реализации синхронного режима необходимо иметь на удаленном конце кабеля специализированный блок сбора цифровых данных - БВС-Ц. В синхронном режиме скорость передачи данных до 20 Мбит/с. В асинхронном режиме также используется RS-485, но протокол обмена данными - со стартовым и стоповым битами. В асинхронном режиме с полудуплексной передачей используется только одна витая пара, при этом в качестве сопряжения можно использовать стандартные вычислительные средства, имеющие в своем составе порт RS-485, или же цифровой гидрофон подключается к компьютеру через стандартные преобразователи RS-485/RS-232, RS-485/USB. Скорость передачи при этом ограничена параметрами канала связи и не превышает 3 Мбит/с. Удаление гидрофона от компьютера определяется стандартом протокола RS-485.

Процессорное ядро и периферийные цифровые схемы питаются от импульсных источников питания с КПД - 94%. Цифровые и аналоговые цепи АЦП для уменьшения помех питаются раздельно от 2-х каскадных линейных стабилизаторов.

Цифровой гидрофон ЦГП-4 имеет следующие характеристики:

- рабочий диапазон частот - 5 - 10000 Гц;
- максимальное гидростатическое давление - 4,5 МПа;
- максимальное измеряемое звуковое давление - 145 дБ отн.20 мкПа;
- уровень собственных шумов на более 40 дБ отн.20 мкПа;
- номинальная чувствительность - 20 ± 10 мВ/Па;
- неравномерность АЧХ - не более 3 дБ;
- неравномерность угловой характеристики - не более 2 дБ;
- неидентичность ФЧХ различных образцов - не более 5 градусов;
- уровень нелинейных искажений - не более -80 дБ;
- масса - 0,12 кг;
- потребление не более 0,12 Вт;
- габаритные размеры (мм) - $\varnothing 30 \times 130$;
- средняя наработка на отказ - не менее 1250 тыс. часов;
- климатическое исполнение - группа УХЛ 2,7;
- используемый антенный кабель имеет четыре витые пары 5-ой категории в общем экране и внутренний несущий трос из кевлара;
- усилие на разрыв антенного кабеля - 100 кг определяется заделкой гидрофонов. Для растяжки антенны при донной постановке в

И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ... ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



а)



б)

Рис. 6. Рабочие эталоны: а – установка СК-10,6 – установка СБ-1.

горизонтальном направлении применяется несущий трос, например из кевлара:

-материал, применяемый в настоящее время для оболочки антенного кабеля – ПВХ марки «О 55».

Для метрологического обеспечения ЦГП как средства измерений разработаны и аттестованы рабочие эталоны второго разряда: установки СК-10 (камера малого объема для калибровки под рабочим давлением для диапазона частот 5 Гц – 2500 Гц) и СБ-1 (для работы в бассейне в диапазоне частот 2 кГц – 10 кГц) – см. фото на рис.6.

Питание отдельных гидрофонов может осуществляться непосредственно с разъема порта USB на компьютере. Таким образом, для использования отдельного гидрофона или антенны с количеством гидрофонов до 8-ми ничего кроме стандартного компьютера и программы (входящей в комплект поставки) не надо. Для антенны с большим количеством элементов необходим отдельный источник питания.

Удаление одиночного гидрофона от компьютера может достигать 300 метров. Для антенны удаление блока БВС-Ц от компьютера ограниче-

но протоколами порта USB2.0 или Ethernet, используемыми для передачи данных.

В заключение работы приведем примеры использования цифровой антенны в гидроакустических задачах. Основное преимущество, которое дает антенна при измерениях подводного шума, состоит в возможности фокусировки на контролируемый объект, что означает получение выигрыша в отношении сигнал/шум. На рис.7 показан пример результатов наблюдения гидроакустического поля при проходе небольшого судна над установленной на дне 48-ми элементной горизонтальной антенной с апертурой 100 метров.

На рис.8 хорошо видна когерентная интерференционная структура акустического поля, формирующаяся в мелком море (глубина около 80 метров). Легко проследить по проходной характеристике для узкополосной составляющей поля излучения судна и выигрыш от фокусировки антенны: уровень помех понижается на 18...20 дБ, вследствие чего наблюдается максимум в момент нахождения судна над антенной. Это означает, что антенна делает возможным измерение поле излучения судна, которое невозможно одиночным гидрофоном.

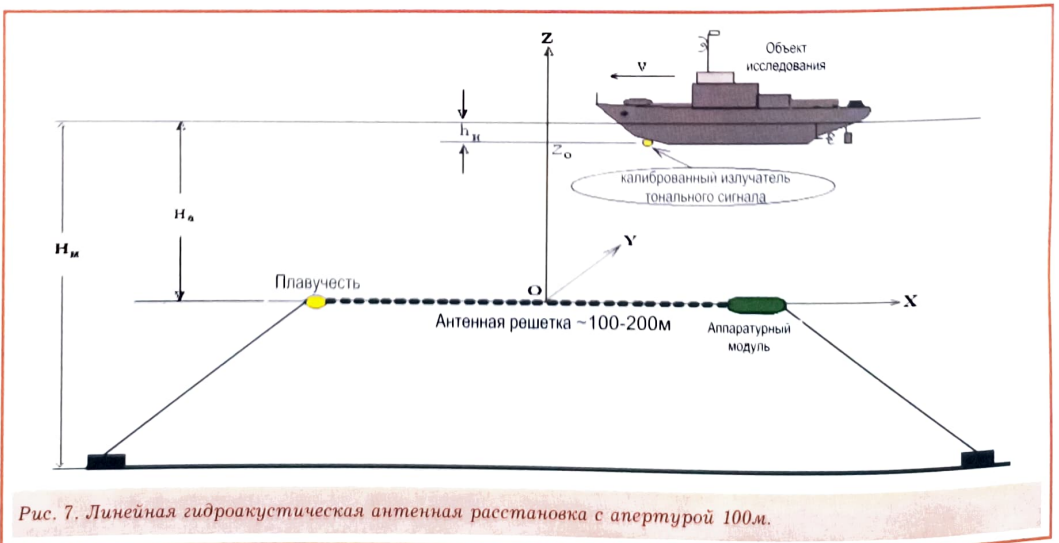
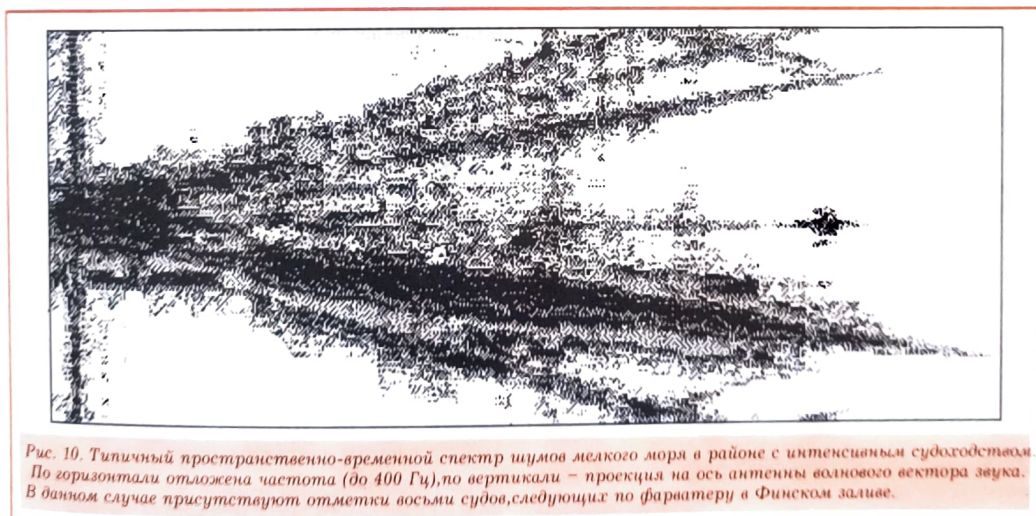
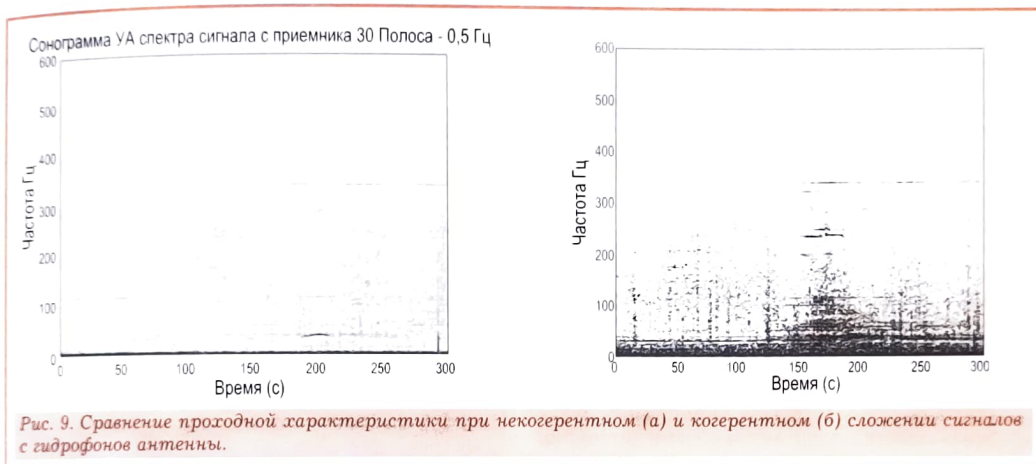
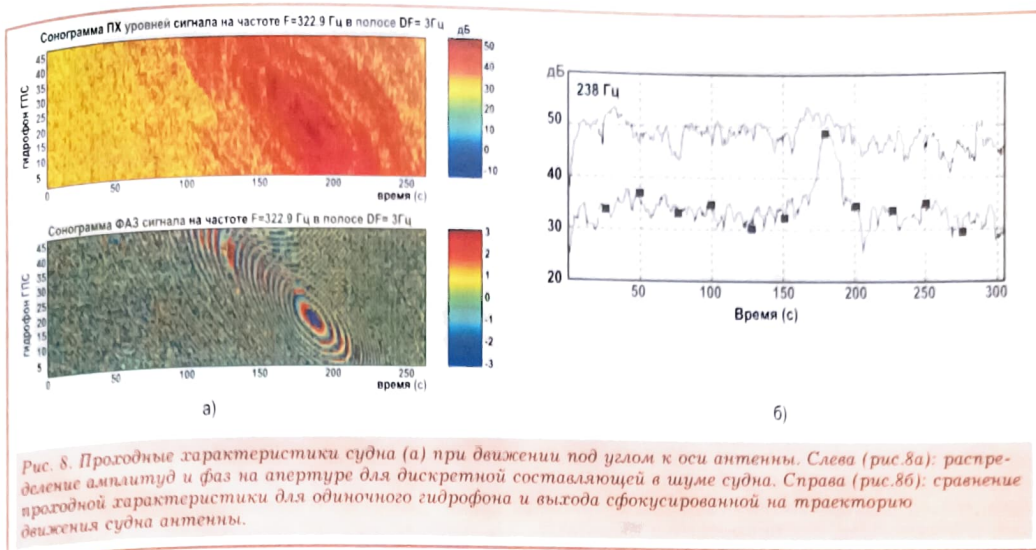


Рис. 7. Линейная гидроакустическая антенная расстановка с апертурой 100м.



На рис.9 для того же галса показан эффект от использования фокусировки антенны в широкой полосе на объект в ближней зоне антенны.

Таким образом, эффективность фокусировки линейной антенны в ближней зоне антенны оказывается достаточной для измерения гидроакустического поля судна в широком диапазоне частот при высоком уровне помех моря.

Линейная антенна, установленная по схеме

рис.7, может быть использована для наблюдения за несколькими судами, находящимися в ее дальнем поле. Сигнал каждого судна может быть выделен и проанализирован.

На рис.8 представлена ситуация, характерная для Финского залива Балтийского моря: горизонтальная антенна установлена недалеко (порядка 5-ти миль) от фарватера по которому движутся грузовые суда

От электродинамического сейсмоприёмника скорости к электродинамическому сейсмоприёмнику ускорений

А.В. Рыжов, А.К. Хромоин, ГФУП "ВНИИГеофизика", г. Москва,
С.А. Жгенти, Б.В. Запорожец, ООО "СИ Технолodge Инструментс", г. Геленджик

Занимаясь разработкой и конструированием регистрирующей аппаратуры для сейсморазведки в транзитных зонах, специалисты "СИ Технолodge Инструментс" столкнулись с необходимостью проводить приём колебаний в каждом пункте наблюдений парой датчиков — пьезоэлектрическим датчиком и электродинамическим сейсмоприёмником. Первоначально это диктовалось необходимостью увязывать материалы, зарегистрированные в транзитной зоне с материалами, полученными: и на суше, где для приема колебаний, как правило, используются электродинамические сейсмоприёмники, и в акватории, где применяются пьезоэлектрические датчики. При этом, волновые поля, зарегистрированные пьезоэлектрическим датчиком, всегда выделялись большей временной разрешенностью. Дальнейшая разработка методики проведения наблюдений в транзитных зонах [2] показала, что из-за различий в характеристиках направленности 1-ого рода у этих датчиков, они по-разному отображают явления интерференции, происходящие в ближней зоне приемника, которые могут приводить к сильнейшему изменению формы суммарной регистрируемой волны. Модельные расчёты показали, что для исключения искажений регистрируемой волны, вызванной интерференцией в ближней зоне приёмника, данные, зарегистрированные датчиками с различными характеристиками направленности 1-ого рода, необходимо суммировать. Это диктуется тем, что противоположные экстремумы характеристик сложения волн для этих датчиков совпадают по оси частот. При этом суммирование колебаний, зарегистрированных обоими датчиками (пьезоэлектрический датчик имеет сферическую направленность, а электродинамический — вертикальную) позволяет практически полностью исключить влияние интерференции в ближней зоне приемника. Конечно, для обеспечения корректности процедуры сложения зарегистрированных колебаний необходимо применять датчики с идентичными, или хотя бы близкими АЧХ.

Так появилась необходимость выбрать электродинамический сейсмоприёмник, обладающий АЧХ близкой к АЧХ пьезоэлектрического датчика и, как следствие, позволяющий повысить разрешающую способность регистрируемых данных.

Наибольшее количество видов и объёмов сейсморазведочных работ в настоящее время проводятся с электродинамическими сейсмоприёмниками скорости. Такие их свойства, как высокая надёжность, отсутствие источников питания, достаточная фазовая идентичность, большой динамический диапазон, низкий уровень шумов, небольшие нелинейные искажения, удовлетворительные значения выходных сопротивлений, несомненная масса, большой диапазон рабочих температур, обеспечили их широкое применение на протяжении многих десятилетий. Параметры современных электродинамических сейсмоприёмников скорости достаточно хорошо согласованы с динамическим диапазоном сейсмических сигналов и уровнем шума сейсмического канала записи цифровых и телеметрических станций.

Однако, электродинамические сейсмоприёмники скорости имеют существенный недостаток, связанный с их ограниченной разрешающей способностью. Чтобы увеличить разрешающую способность сейсмических исследований, в [12] рекомендованы к применению дорогостоящие акселерометры. Пояснения к этой рекомендации

дано позднее в [10]: "если вибратор развивает квазигармонические силовые нагрузки постоянной амплитуды, то скорость перемещения частиц упругой среды будет убывать с ростом частоты. С этих позиций электродинамический сейсмоприёмник уже не является оптимальным, так как он приводит к закономерному уменьшению амплитуд волн с ростом частоты по линейному закону". Вывод подтверждён практикой работ, проводимых с вибрационными источниками. Совсем недавно в 2005 году были проведены теоретические исследования дискретной модели упругой среды [7]. В результате этих исследований вычислена передаточная функция такой модели. На основании полученной передаточной функции сделан вывод о том, что сила, возбуждаемая сейсмическим источником, передаётся по сейсмогеологической среде со скоростью, определяемой волновым уравнением, и, достигнув сейсмоприёмника, приводит его корпус в движение с ускорением, пропорциональным воздействующей силе источника. Для входных сигналов, пропорциональных ускорениям перемещений изучаемой упругой среды, АЧХ оптимального сейсмоприёмника должна быть в рабочем диапазоне частот параллельна оси частот. АЧХ же электродинамического сейсмоприёмника скорости представляет собой равносторонний треугольник (рис. 1) с вершиной на частоте свободных колебаний, имея до и после этой частоты крутизну среза 6 дБ на октаву. Сейсмоприёмник с такой АЧХ снижает уровень как низкочастотных, так и высокочастотных составляющих сейсмического сигнала и тем самым, уменьшает потенциальную разрешающую способность принимаемого сигнала [5].

Оптимальные АЧХ имеют пьезоэлектрические акселерометры. Но у них есть недостаток, связанный с уменьшением их чувствительности с понижением частоты воспринимаемых сигналов. Это обусловлено тем, что рабочий частотный диапазон пьезоэлектрического акселерометра расположен на наклонной линии АЧХ механического колебательного звена, где значение его передаточной функции стремится к нулю пропорционально отношению ω^2/ω_0^2 . Высшая частота рабочего частотного диапазона пьезоэлектрического сейсмоприёмника выбирается в три раза меньше частоты свободных колебаний механического колебательного звена для того, чтобы исключить влияние резонансного подъёма АЧХ. Уже на высшей частоте диапазона относительное перемещение корпуса и инерционного тела будет почти на порядок меньше перемещения корпуса, а для низшей частоты, составляющей одну сотую от высшей частоты диапазона, будет меньше перемещения корпуса в 10^5 раз. Для того, чтобы воспринять перемещение корпуса 1 мм на частоте 1 Гц, пьезоэлектрический акселерометр должен иметь разрешающую способность относительного перемещения корпуса и инерционного тела 10^{-14} м. Внутренние шумы этого прибора на два порядка больше. Так пьезоэлектрический акселерометр для исследований низкочастотных вибраций 8306 фирмы Брюль и Кьер имеет частотный диапазон от 0,06 до 1250 Гц, частоту свободных колебаний 4500 Гц, коэффициент преобразования 1 В/м/с², динамический диапазон 114 дБ, эффективное напряжение шума 14 мкВ, массу 0,5 кг. Наименьшая амплитуда воспринимаемого перемещения на

частоте 10 Гц равна 5 нм. Это на два порядка хуже, чем у электродинамического сейсмоприёмника GS-32CT. На рис. 1 приведена АЧХ пьезоакселерометра 8306.

В последнее время предпринимаются попытки использовать в качестве приёмников сейсмических сигналов дорогостоящие компенсационные акселерометры, используемые в навигации [3]. Лучшим из них является АК-6, разработанный Ленинградским институтом электромеханики и Московским институтом автоматики. Прибор измеряет свой угол наклона, сохраняя работоспособность в любом положении. Его коэффициент преобразования 0,12 В/м/с². Его динамический диапазон 154 дБ, наименьшая амплитуда воспринимаемого ускорения 2·10⁻⁶ м/с². В АК-6 применён ёмкостный преобразователь, потенциально способный измерять перемещение инерционного тела относительно корпуса с разрешением 10⁻¹⁴ м [4]. Разрешающая способность АК-6 по перемещению на частоте 10 Гц на порядок хуже, чем у GS-32CT. К тому же эти акселерометры, кроме высокой стоимости, превышающей стоимость известных электродинамических

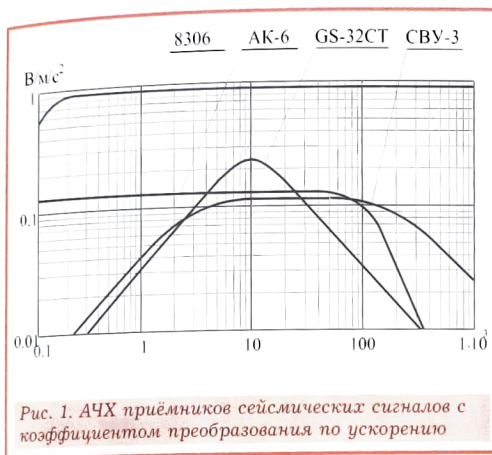


Рис. 1. АЧХ приёмников сейсмических сигналов с коэффициентом преобразования по ускорению

сейсмоприёмников на два порядка, имеют и второй недостаток, связанный с ограничением их частотного диапазона справа частотой 100 Гц.

Фирма Input/Output разработала трёхкомпонентный акселерометр VectorSeis. Взяв за основу компенсационный акселерометр для навигации, фирма расширила его частотный диапазон в сторону высоких частот, уменьшив массу инерционного тела до долей грамма и заменив в обратной связи тяжёлый (с обмотками) электродинамический двигатель на лёгкий электростатический с конденсаторными пластинами, напылёнными на инерционном теле. У VectorSeis частотный диапазон находится в пределах от 2 до 200 Гц, динамический диапазон равен 105 дБ, наименьшая амплитуда воспринимаемого ускорения на порядок хуже, чем у АК-6, а наименьшая амплитуда воспринимаемого перемещения на частоте 10 Гц на два порядка хуже, чем у GS-32CT.

Ухудшение разрешающей способности акселерометра VectorSeis, видимо, связано с неоптимальными значениями параметров этого прибора и, в первую очередь, с малой массой инерционного тела его механического колебательного звена. Как известно [1], действующее на корпус акселерометра ускорение, эквивалентное ускорению, вызываемого внутренним тепловым шумом демпфирующего устройства механического колебательного звена, равно:

$$a = \sqrt{4kT \cdot \Delta f \cdot \frac{4\pi\beta f_0}{m}} \quad (1)$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/°К – постоянная Больцмана, $T = 300^\circ\text{K}$ – абсолютная температура, Δf – рабочий частотный диапазон, β – степень затухания механического колебательного звена, f_0 – частота его свободных колебаний, m – масса инерционного тела звена.

Ускорение, рассчитанное по формуле (1) для сейсмоприёмника GS-32CT (с параметрами: $\Delta f = 256$ Гц; $\beta = 0,7$; $f_0 = 10$ Гц; $m = 11$ г), равно $0,1 \cdot 10^{-6}$ м/с². То же ускорение для акселерометра VectorSeis превышает $20 \cdot 10^{-6}$ м/с².

Если, сохранив положительные свойства электродинамического сейсмоприёмника скорости, создать в нём степень затухания больше единицы, то в результате получим электродинамический сейсмоприёмник ускорений в частотном диапазоне тем более широком, чем больше степень затухания. В 1972 году впервые электродинамический сейсмометр ускорений ОСП-2 создал сотрудник Института Физики Земли В.А.Токмаков. Он разработал теоретические основы работы ОСП-2 в частотном диапазоне от долей до первых единиц герц и получил соотношения для расчёта параметров такого сейсмометра [11]. Из-за увеличения индуктивной связи между каркасом и обмоткой катушки в частотном диапазоне сейсмических сигналов нефтегазовой сейсморазведки (от единиц до первых сотен Гц) эти соотношения не могут быть использованы при расчёте сейсмоприёмника ускорений.

Во ВНИИГеофизика разработан электродинамический сейсмоприёмник вертикальных ускорений СВУ-3 с рабочим частотным диапазоном от 3 до 250 Гц. На рис. 1 изображена его АЧХ, совпадающая с АЧХ фильтра, согласованного со спектром сейсмического сигнала. Описание конструкции и расчёт параметров сейсмоприёмника даны в [6], его передаточная функция получена в [8], а технические характеристики приведены в [5]. Рассчитанные по формуле (1) внутренние шумы, создаваемые механическим колебательным звеном, составляют $0,3 \cdot 10^{-6}$ м/с² и не превышают внутренних шумов, создаваемых сопротивлением обмотки СВУ-3.

Именно этот электродинамический сейсмоприёмник вертикальных ускорений был выбран специалистами “СИ Технолоджи Инструментс” для использования в системе регистрации для транзитных зон Marsh Line.

В настоящее время между “СИ Технолоджи Инструментс” и ГФУП “ВНИИГеофизика” действует договор о подготовке документации на мелкосерийное производство СВУ-3 с рабочим частотным диапазоном от 3 до 250 Гц.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. Аки, П. Ричардс. Количественная сейсмология. М.: Мир, 1983.
2. Жентли С.А., Запорожец Б.В. Сбор сейсмических данных и телеметрия переходных зон // Приборы и системы разведочной геофизики. – Саратов: Издательство Полиграф-Депо – 2005. №3.
3. Коновалов С.Ф. и др. Опыт разработки малошумящего акселерометра. // Гирскопия и навигация. – 2000. – №3.
4. Левшина Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин // Л.: Энергоатомиздат, 1983
5. Рыков А.В. Анализ свойств сейсмоприёмников // Геофизика – М.: Издательство Герс. – 2003. – №4.
6. Рыков А.В. Новый электродинамический сейсмоприёмник ускорений. // Приборы и системы разведочной геофизики. – Саратов: Издательство Полиграф-Депо. – 2002. – №2
7. Рыков А.В. Распространение волн в дискретной модели упругой среды. // Разведка и охрана недр. – 2005. – №2-3.
8. Рыков А.В. Электродинамический трёхкомпонентный сейсмоприёмник ускорений. // Приборы и системы разведочной геофизики. – Саратов: Издательство Полиграф-Депо. – 2004. – №4
9. Теория автоматического управления. Часть 1. Под редакцией Воронова А.А. – М. Высшая школа. – 1977.
10. Теория и практика наземной невязрывной сейсморазведки. Под редакцией Шнейерсона М.Б. – М.: Недра. – 1998.
11. Токмаков В.А. О сейсмических приборах с большим затуханием. // Сейсмические приборы. – М.: Наука. – 1977. – Выпуск № 10.
12. Шериф Р., Гелдарт Л. Сейсморазведка. Том 1. – М.: Мир – 1987

Оптимизация технологии проведения сейсморазведочных работ с использованием погружных геофонов

В.А. Детков, П.Ю. Щадин, А.В. Струнов, Ф.В. Сагитов, ОАО «Енисейгеофизика», г. Енисейск

При производстве сейсморазведочных исследований с появлением цифровых телеметрических сейсмостанций, трехмерных наблюдений, новых алгоритмов цифровой обработки и интерпретации, появилась возможность решения тонких задач оценки динамических параметров сейсмических записей. Это, в свою очередь, позволяет с высокой степенью вероятности оценивать литологический состав коллекторов, их пористость и флюидонасыщенность. Однако все эти возможности могут быть реализованы лишь при условии получения качественных полевых данных. Важнейшим компонентом приема и регистрации сейсмических данных является приемная линия и качество установки сейсμοприемников.

С целью повышения эффективности сейсмических исследований в ОАО «Енисейгеофизика» проведены опытные работы по совершенствованию методики полевых работ МОГТ с применением различных типов сейсμοприемников, параметров группирования и способов расстановки. Опытные работы проводились в два этапа – в весеннее - зимний период (апрель 2006 г.) и в летне-осенний период (октябрь 2006 г.). Испытания проводились в различных сейсмогеологических условиях - в южной части Эвенкийского автономного округа и в южной части Троицко - Михайловской площади Присяяно - Енисейской синеклизы (Красноярский край, район г. Канска). В обоих случаях использовались геофоны GS-20DX в различных корпусах и вариантах группирования.

На первом этапе испытаний в апреле 2006 года на профиле были установлены три типа расстановки, каждая длиной 1250 м:

- группа 12 сейсμοприемников (2 х 6 шт.) GS-20DX на базе 50 м, шаг ПП 50 м, всего 26 пунктов приема;

- группа 3 сейсμοприемников GS-20DX в точке, шаг ПП 50 м, всего 26 пунктов приема;

- группа 3 сейсμοприемников GS-20DX в едином корпусе PS-901, погруженном на глубину 40-50 см в точку, шаг ПП 25 м, всего 51 пункт приема.

Возбуждение проводилось группой из 4-х электромагнитных невзрывных источников «Енисей-СЭМ-100» с накоплением 12 воздействий, шаг ПВ 25 м. База группирования источников составляла 35-40 м.

Длина тестируемых расстановок составляла 1250 м каждая. Расстановки не коммутировались и оставались на месте. Первый пункт возбуждения располагался на расстоянии 2750 м от ближайшего канала расстановок, последующие пункты приближались к расстановкам с шагом 25 м, проходили вдоль расстановок и, последний пункт возбуждения удалялся от крайнего канала также на удаление 2750 м.

На втором этапе испытаний в октябре 2006 года на профиле были установлены два типа

расстановки, каждая длиной 1070 м:

- группа 6 сейсμοприемников (последовательное соединение) GS-20DX на базе 25 м, шаг ПП 20 м, всего 54 пункта приема;

- группа 3 сейсμοприемников GS-20DX в едином корпусе PS-901, погруженном на глубину 40-50 см в точку, шаг ПП 10 м, всего 108 пунктов приема.

Возбуждение проводилось группой из 4-х электромагнитных невзрывных источников «Енисей-КЭМ-4» с накоплением 16 воздействий, шаг ПВ 20 м. База группирования источников составляла 35-40 м.

Длина тестируемых расстановок составляла 1070 м каждая. Расстановки не коммутировались и оставались на месте. Первый пункт возбуждения располагался на расстоянии 4030 м от ближайшего канала расстановок, последующие пункты приближались к расстановкам с шагом 50 м, проходили вдоль расстановок и последний пункт возбуждения удалялся от крайнего канала на удаление 1450 м.

В качестве регистрирующей системы использовалась телеметрическая сейсмостанция Sercel-408UL.

Традиционно используемые группы сейсμοприемников (12 шт. на базе 50 м), а также группы из 3-х сейсμοприемников в точке устанавливались в утопанный снег вдоль тракторной колесной профили. Шаг пунктов приема являлся стандартным для региональных работ – 50 м.

Для установки 3-х вертикально сгруппированных сейсμοприемников в едином корпусе PS-901 применялась следующая технология:

- стандартно разбитый профиль через 50 м

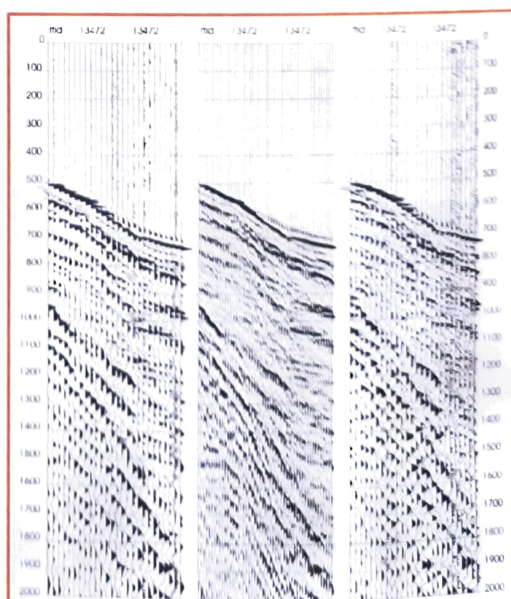


Рис. 1. Сейсмограммы ОПВ опытных работ. А – 12 геофонов на базе 50 м, Б – 3 геофона в скважине, В – 3 геофона в точке на поверхности.

И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ... ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

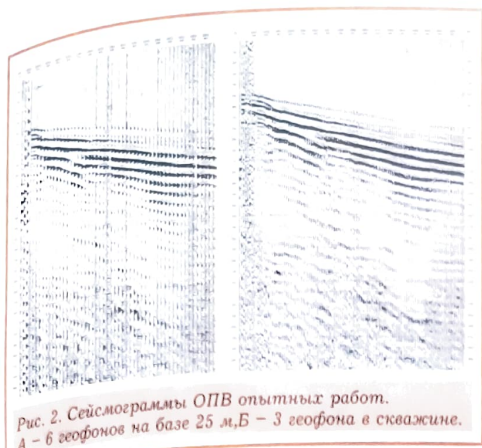


Рис. 2. Сейсмограммы ОПВ опытных работ.
А – 6 геофонов на базе 50 м, Б – 3 геофона в скважине.

разбивался с помощью мерного шнура через 25 м и через 10 м.

в пунктах приема расчищался снег до грунта для бурения скважины под установку сейсмоприемников.

на расчищенных площадках пунктов приема с помощью перфоратора бурилась скважина глубиной 0,5 м и диаметром 50 мм;

в пробуренную скважину устанавливался погружной сейсмоприемник в корпусе PS-901 и подключался к расстановке.

Скважины под погружные сейсмоприемники бурились с помощью строительного перфоратора, применяемого для сверления отверстий в бетонных стенах и перекрытиях. Перфоратор позволяет бурить скважины, как в мягких, так и твердых породах глубиной до 1,5 метра.

Полученные в результате опытных работ сейсмограммы общего пункта возбуждения (ОПВ) характеризуются интенсивными первыми вступлениями, низкочастотными (10-20 Гц) низкоскоростными (1500-2700 м/с) поверхностными волнами, а также отраженными волнами в интервале времен 900-1300 мс с видимой частотой 30-40 Гц (рис. 1, 2).

Несомненно, что самой оптимальной, с точки зрения уровня шумов, является расстановка с погруженными датчиками. Нерегулярные шумы профиля здесь находятся на очень низком уровне. Соответственно и соотношение сигнал/помеха на сейсмограммах с погружными датчиками выше. На других типах расстановок уровень микросейсм примерно одинаков, однако распределенная группа несколько сглаживает скачки шумов в некоторых частях

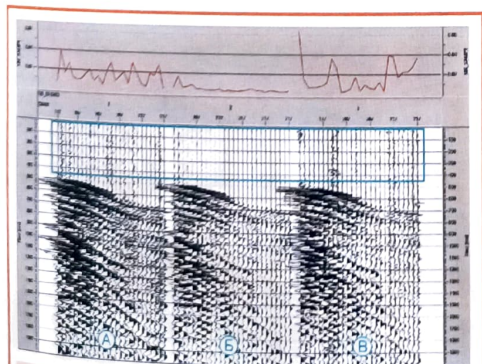


Рис. 3. Уровень микросейсм (красный график) в окне до первых вступлений.
А – 12 геофонов на базе 50 м, Б – 3 геофона в скважине, В – 3 геофона в точке на поверхности

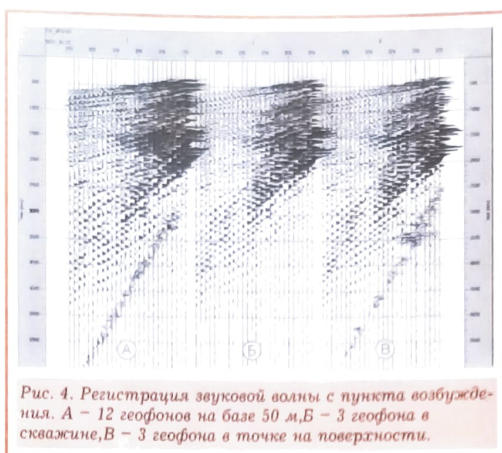


Рис. 4. Регистрация звуковой волны с пункта возбуждения. А – 12 геофонов на базе 50 м, Б – 3 геофона в скважине, В – 3 геофона в точке на поверхности.

профиля (рис. 3).

При работе с невзрывными источниками, в зависимости от рельефа и направления ветра, на сейсмограммах иногда появляется звуковая волна, зарегистрированная от пункта возбуждения (рис. 4). Как видно из этих рисунков, погруженные в скважину геофоны совершенно не чувствительны к такой интенсивной помехе

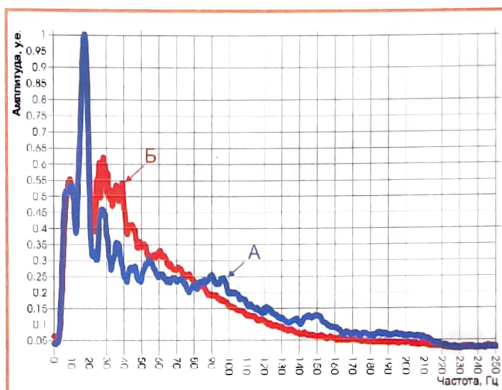


Рис. 5. Анализ частотного состава записей. А – 12 геофонов на базе 50 м, Б – 3 геофона в скважине.

как звуковая волна.

Анализ частотного состава записей группы из 12 геофонов (А) и погруженных в скважину датчиков (Б), показывает, что при уравнивании амплитуд первых вступлений частотой 18 Гц к

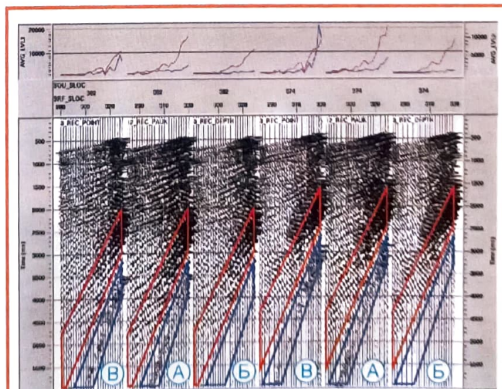


Рис. 5. Анализ интенсивности поверхностных волн (красное окно) и звуковых волн (синее окно). А – 12 геофонов на базе 50 м, Б – 3 геофона в скважине, В – 3 геофона в точке на поверхности.

И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ... ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

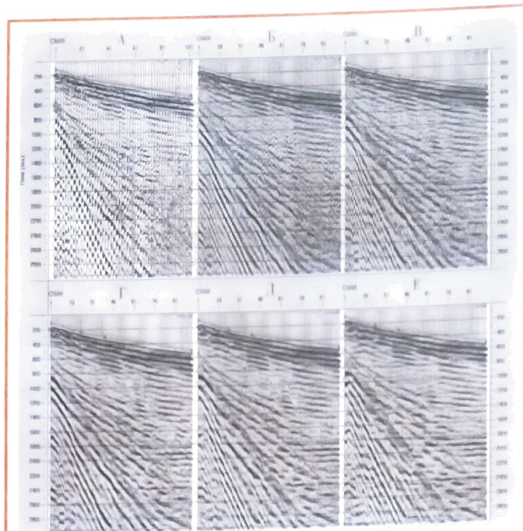


Рис. 7. Сейсмограммы ОПВ опытных работ. А – наблюдаемая, 6 геофонов на базе 25 м; Б – наблюдаемая, 3 геофона в скважине; В – лабораторное группирование 2 шт. PS-901 на базе 20 м; Г – лабораторное группирование 3 шт. PS-901 на базе 20 м; Д – лабораторное группирование 5 шт. PS-901 на базе 40 м; Е – лабораторное группирование 7 шт. PS-901 на базе 60 м.

единице, амплитуда наиболее полезной части записи частотой 25-40 Гц и далее до 80 Гц у погруженных в скважину датчиков заметно превышает амплитуды аналогичных частот группы геофонов (рис. 5).

Такой результат вполне предсказуем, поскольку рассредоточение группы геофонов на базе 50 м приводит к некоторому растяжению импульса регистрируемого сигнала и, соответственно, понижению частоты.

Основное назначение группирования сейсмоприемников, как интерференционной системы, заключается в подавлении или, по крайней мере, в ослаблении поверхностных волн-помех. Анализ интенсивности поверхностных волн на расстановках с различным типом группирования сейсмоприемников показывает, что при традиционно используемом группиро-

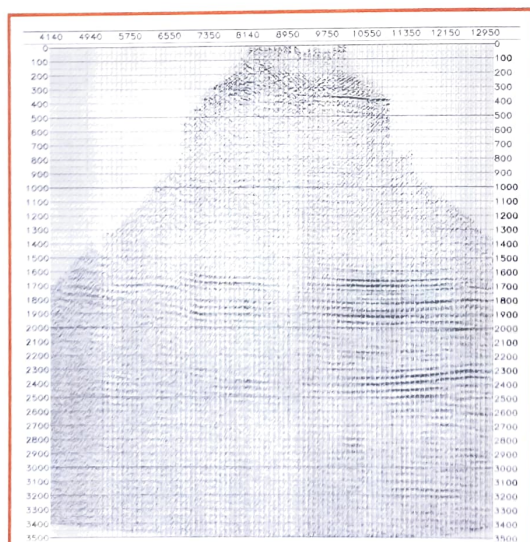


Рис. 8. Временной разрез опытных работ, полученный с использованием групп из 6 геофонов на базе 25 м, шаг ОГТ 10 м.

вании геофонов на базе 50 м, функция подавления поверхностных волн-помех не очевидна (рис. 6).

Кроме того, при точечном группировании сейсмоприемников, роль интерференционной системы может выполнять группа импульсных источников) или при необходимости, может производиться лабораторное группирование в процессе цифровой обработки (рис. 7).

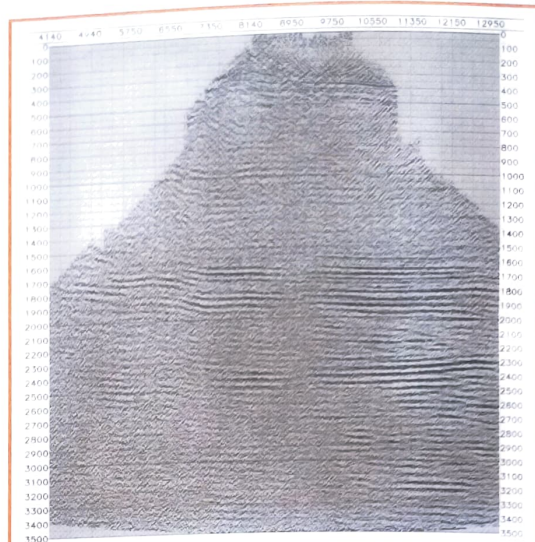


Рис. 9. Временной разрез опытных работ, полученный с использованием лабораторного группирования погруженных сейсмоприемников 3х3 шт. на базе 20 м, шаг ОГТ 5 м.

Несомненно, сгущение шага наблюдения (в данном случае до 10 м между каналами) открывает возможности не только создавать в процессе обработки интерференционные системы с различными характеристиками, но и благоприятно сказывается на информативности сейсмических данных.

Проведенные опытные работы показали, что наиболее оптимальным является регистрация колебаний с использованием погружных датчиков серийного производства, т.к.:

1. Помещение точечной группы в скважину исключает невертикальную установку и защищает от ветровых помех.

2. Погруженные в скважину геофоны не чувствительны к интенсивной звуковой волне-помехе.

3. За счет меньшего уровня микросейсм на сейсмограммах с погруженными сейсмоприемниками возрастает соотношение сигнал/помеха.

4. Точечное группирование исключает проблему статических сдвигов внутри группы, не ослабляя высоких частот.

5. Для районов Сибирской платформы характеризующихся сложным строением ВЧР, связанного с широким распространением туфогенных образований нижнего триаса и насыщенных траппами образований карбона-перми, повышение горизонтальной разрешенности наблюдений ОГТ за счет расположения пунктов возбуждения через 40-50 м и сгущения пунктов приема до 5-10 м, может существенно поднять информативность сейсмозвездочных данных.

Опыт проведения исследований на нефтегазовых месторождениях с использованием многокомпонентной регистрации сейсмических данных

В.И. Кузнецов, Г.В. Волков, В.З. Кокшаров, ОАО «Тюменнефтегеофизика», г. Тюмень

Результативность сейсморазведки определяется возможностью анализа волновых полей, типом и параметрами волн, используемых при интерпретации. Для увеличения эффективности сейсмических исследований и получения наиболее полных сведений о среде необходима совместная обработка и интерпретация волн разных типов. Такое комплексирование получило название многоволновой сейсморазведки (МВС), в основе которой заложен скалярный подход к выделению волн различной поляризации. Современные мировые тенденции развития сейсморазведки указывают на то, что при решении многих геологических задач эффективным может оказаться совместное использование волн с различным типом поляризации колебаний: продольных, поперечных и обменных.

Преимущества совместного использования продольных и поперечных волн связаны с возможностью более достоверного определения свойств пород, прогноза литологии, выявления трещиноватости, оценки свойств флюидов по всему месторождению.

В связи с невозможностью по экономическим и технологическим причинам проведения в настоящий момент работ с направленными источниками становится актуальной задача поиска других, альтернативных методов изучения упругих свойств горных пород. Одним из таких перспективных направлений является применение обменных PS-волн, для возбужде-

ния которых могут быть использованы те же ненаправленные источники, что и для продольных, и которые, по опыту сейсморазведочных работ, имеют достаточную интенсивность.

Предпосылками для использования обменных PS-волн являются особенности геологического разреза, характеризующегося наличием контрастных акустических границ и пространственный анализ волновых полей, наблюдаемых во внутренних точках среды на материалах трехкомпонентного ВСП (рис. 1). Принципиальным отличием трехкомпонентной регистрации является использование для анализа волнового поля частоты, поляризации колебаний и направления распространения волн.

Повышенный интерес к трёхкомпонентным наблюдениям обусловлен тем, что они дают не только опорную информацию для корректной интерпретации сейсмических материалов, но в ряде случаев используются и для непосредственного решения литологостратиграфических и промысловых задач изучения продуктивных коллекторов. Установлено, что метод наземной МВС совместно со скважинными сейсмическими наблюдениями (трехкомпонентное вертикальное сейсмическое профилирование – ВСП) может успешно использоваться для решения следующих задач:

1. определение скоростей распространения, частотного состава, затухания и пространственной поляризации продольных (P) и поперечных (S) волн;

2. стратиграфическая привязка отражающих горизонтов на P- и PS- волнах и их отождествление с данными промысловой геофизики (ГИС);

3. изучение геологического строения, физических свойств и напряжённого состояния геологического разреза;

4. прогнозирование характера флюидонасыщения коллекторов по данным коэффициента Пуассона и особенностям динамических характеристик – эффект «яркого» пятна;

5. изучение на поперечных волнах анизотропии геологического разреза, в том числе нефтегазовых коллекторов, с оценкой преимущественной азимутальной ориентации вертикальных трещин, вызванных негидростатичным напряжённым состоянием горных пород, и определение максимальной проницаемости коллекторов;

6. мониторинг изменения физических характеристик нефтяных пластов и контроль процессов разработки нефтегазовых месторождений путём проведения периодических повторных наблюдений методами МВС и ВСП;

7. изучение на трех компонентах волнового поля во внутренних точках среды с целью определения кинематических и динамических характеристик волн различной поляризации и установление их связи с литолого-фацialsными и коллекторскими свойствами продуктивных горизонтов.

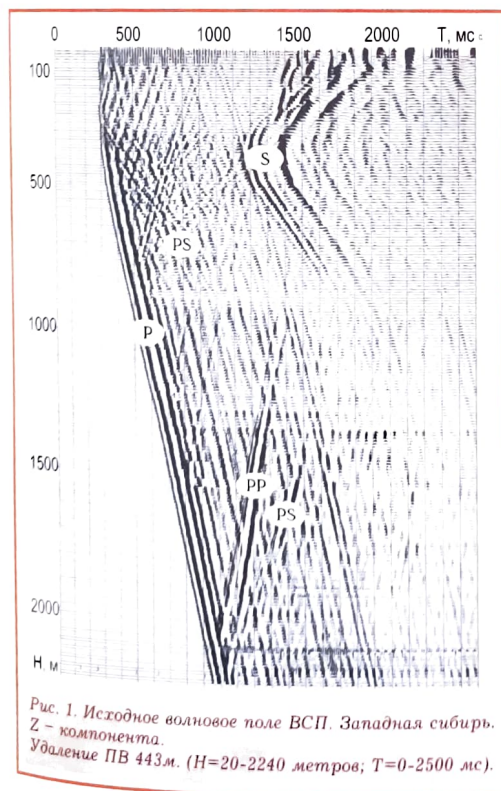


Рис. 1. Исходное волновое поле ВСП. Западная Сибирь. Z – компонента. Удаление ПВ 443 м. (H=20-2240 метров; T=0-2500 мс).

И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ...
ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Проектирование многоволновой сейсморазведки.

На исследуемом участке проводится комплекс наземных и скважинных наблюдений МВС с использованием всех типов волн: продольных, поперечных и обменных. Общая сложность поставленных задач и новизна используемой аппаратуры требуют проведения достаточно существенного объема опытных полевых работ, обеспечивающих наилучшее возбуждение и регистрацию волн с различным типом поляризации колебаний. При проведении таких работ основное внимание желательно уделить дискретности расстановки, характеристике источника возбуждения упругих колебаний, исследованию свойств верхней части разреза. Скважинные наблюдения должны дать опорную информацию об акустических и поглощающих характеристиках разреза, анизотропии отдельных ее интервалов с оценкой направления преимущественной ориентации трещин.

Для приема упругих колебаний используются трехкомпонентные цифровые сейсмоприемники. Наблюдения проводятся по системе МОГТ. Используется обычно центральная система наблюдений.

Отработка производится различными типами источников: взрыв в скважине, поверхностные вибрационные или импульсные источники. Определение оптимальных параметров этих источников должно быть проведено на участках, характеризующихся различными поверхностными условиями. Оценка эффективности источников должна производиться по анализу интенсивности выделенных после обработки отраженных P- и PS-волн от нескольких горизонтов, зарегистрированных на одиночных сейсмограммах.

Для каждого из источников варьируются их характерные параметры с целью выбора оптимальных условий возбуждения. Для взрывных воздействий определяются оптимальная глубина и вес заряда, а также наиболее эффективные способы их укупорки в скважине.

Для невзрывных импульсных источников варьируются условия их установки, число группируемых источников, расстояние между ними и количество накопленных. Для вибрационных источников — длительность свип-сигнала, граничные частоты и закон изменения частоты излучаемых колебаний, количество вибраторов в группе и расстояние между вибраторами в группе.

Из-за различия в деталях поверхностных и глубинных сейсмогеологических условий возможного района работ конкретные технологические параметры методик могут потребовать существенного уточнения.

Общее представление о последовательности процедур обработки сейсмических данных ЗС дано на рис. 2. Основными этапами обработки являются: создание проекта профиля (ввод полевых данных, присвоение системы наблюдений и топогеодезии); повышение отношения сигнал-помеха сейсмических данных и преобразование формы сигнала (подавление волн-помех и дековолюция); оценка статических поправок; получение суммарных разрезов Z-, X-, Y-

компонент.

Каждая из компонент волнового поля

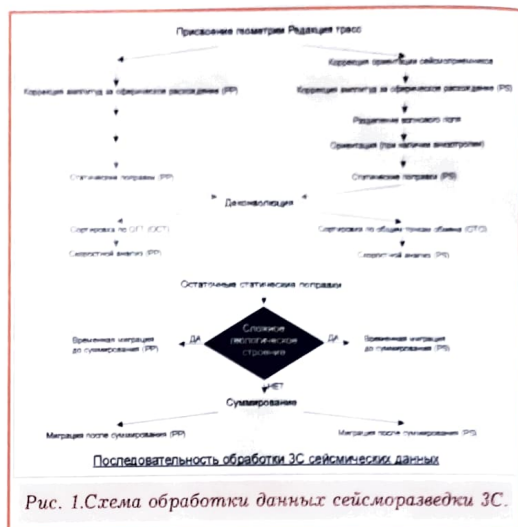


Рис. 1. Схема обработки данных сейсморазведки ЗС.

(горизонтальные и вертикальная) обрабатываются отдельно, поскольку времена регистрации целевых горизонтов и скорости распространения продольных и обменных волн различны. Поэтому, несмотря на общность схемы обработки данных, состав и последовательность использованных для получения суммарных временных разрезов продольных (Z-компонента) и обменных волн (X- и Y-компоненты) отличаются.

Данные, полученные вертикальной (Z) компонентой, обрабатываются на первоначальном этапе исследований, и служат ориентиром для обработки данных, полученных на горизонтальных компонентах.

Полевое оборудование.

Ведущие фирмы-разработчики полевого геофизического оборудования (Input/Output, Sercel) создали сейсмоприемники нового поколения: VectorSeis и DSU3. Цифровые датчики имеют две главные составляющие: компактный силиконовый акселерометр с маленькой инертной массой, подвешенной на миниатюрных пружинах, и специально разработанная управляющая микросхема. Три ортогональные компоненты образуют ядро цифровых сейсмоприемников.

Одной из отличительных особенностей этих сейсмоприемников от ранее и ныне используемых аналоговых электродинамических приборов является цифровой способ передачи информации от трехкомпонентного сейсмоприемника к регистрирующей аппаратуре, что не исключает возможность их группирования непосредственно в поле. Отсутствие возможности группирования цифровых сейсмоприемников требует применения меньшего шага их расстановки на профиле с целью повышения эффективности процедур пространственно-временной фильтрации.

Датчики, созданные с применением передовой MEMS-технологии (Micro Electro Mechanical System) в техническом вакууме, по своей физической сути являются акселеромет-

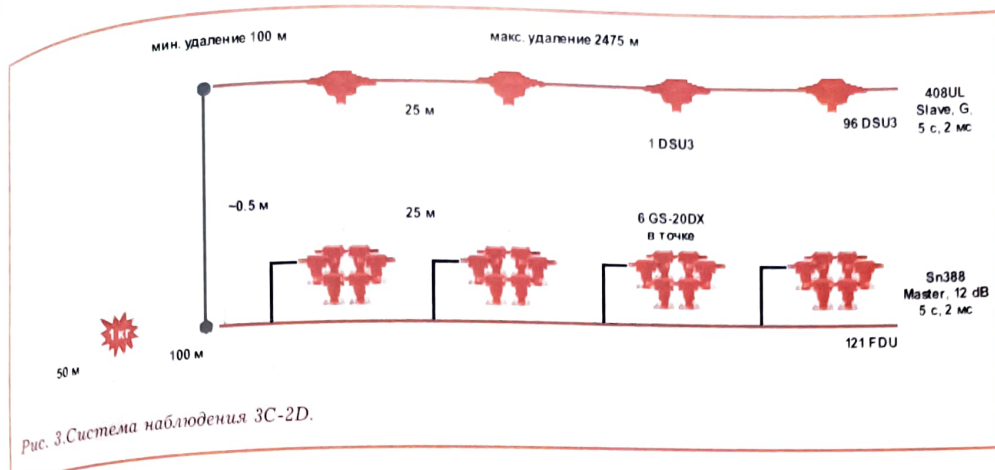


Рис. 3. Система наблюдения 3С-2D.

Широкий динамический диапазон принимаемых колебаний среды обеспечивает компенсационный принцип измерения. Технологии MEMS обеспечивают получение амплитудно- и фазо-частотных характеристик при приеме сигнала принципиально нового качества и полную (23 разряда + знак) цифровую передачу данных.

Примеры проектов 2D-3С, выполненных ОАО «Тюменнефтегеофизика»

Бахилковский проект.

При выполнении тестового сейсмического профиля 2D на Бахилковском месторождении выполнено сопоставление цифровых 3С датчиков DSU3 со стандартными электродинамическими сейсмоприемниками. Система полевых наблюдений 3С-2D приведена на рис. 3.

Сравнение сейсмических данных по Z-компоненте (Р-волны) послужило доказательством двух основных преимуществ новой технологии цифровой регистрации. Во-первых, благодаря полной цифровой передаче данных от датчика в центральный блок телеметрической системы отсутствует шум. Во-вторых, улучшенные амплитудно-частотные характеристики акселерометра DSU3 позволяют регистриро-

вать энергетически более выраженную высокочастотную составляющую упругих колебаний.

В рамках проекта дополнительно выполнены сейсмические исследования по методике ВСП. Проведена обработка данных ВСП в многоволновой модификации. Результатами обработки являются выделенные волновые поля отраженных продольных РР и обменных PS волн. Также получено распределение комплексного параметра γ , который использовался для последующей обработки наземных 3С сейсмических данных.

Волновая картина по Р-компоненте и R-компоненте ПВЗ представлена на рис. 4. ВСП выполнено в скважине Бахилковская № 5, удаление ПВ от устья скважины составляет 1600 м. Сейсмограммы Р- и R-компонент, изображенные на рисунке представляют собой результат ориентации в направлении источник-приемник и получены путем анализа вектора смещения прямой продольной волны. На сейсмограммах представлены продольные Р и поперечные S падающие и отраженные, а также проходящие и отраженные обменные PS-волны.

В результате обработки получены трассы коридорного суммирования РР- и PS-волн

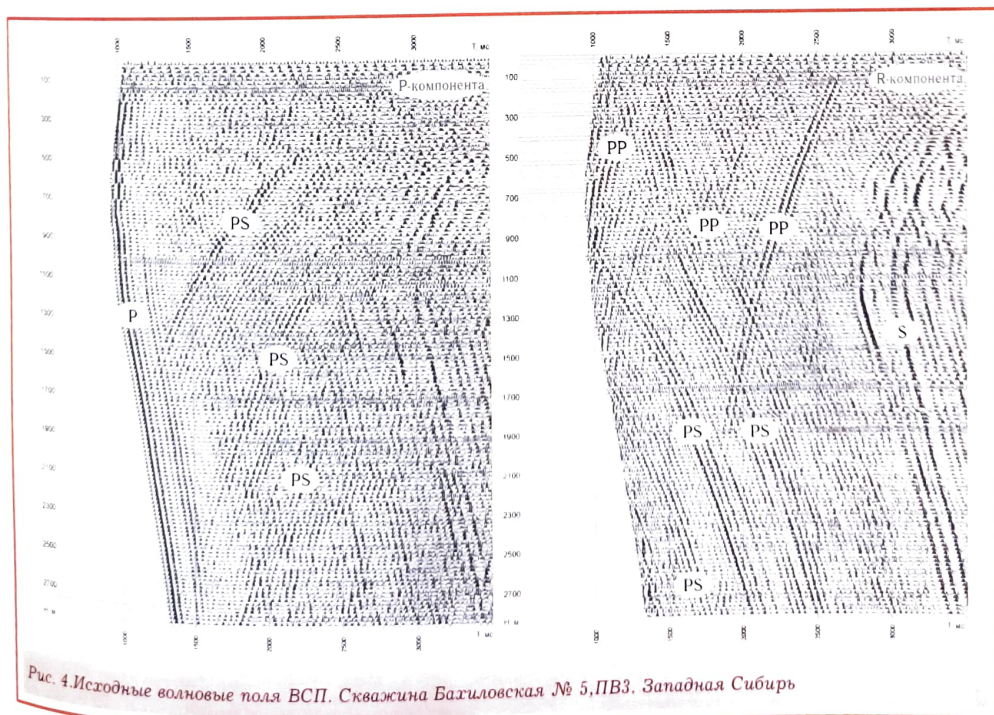
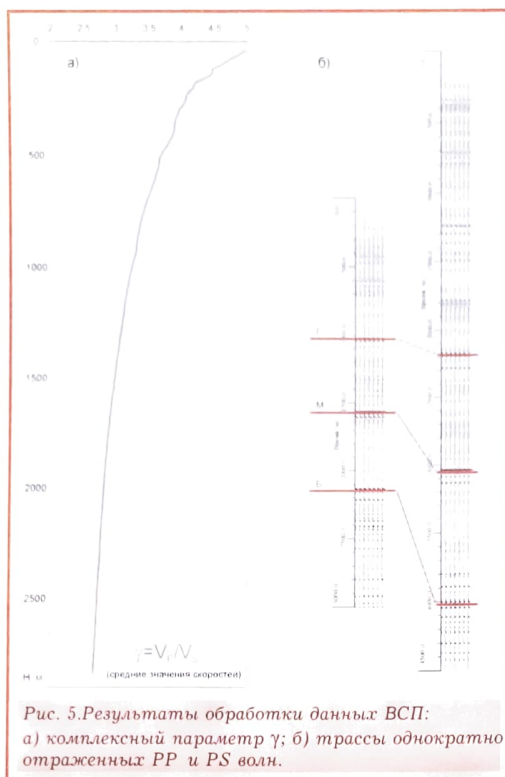


Рис. 4. Исходные волновые поля ВСП. Скважина Бахилковская № 5, ПВЗ. Западная Сибирь

И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ... ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ



(рис.5), которые служат для привязки данных ВСП к данным наземной сейсмоки. Используя информацию о скоростях распространения продольных и поперечных волн, рассчитывается отношение скоростей $\gamma = V_p/V_s$.

Экспериментальные данные многокомпонентного ВСП, полученные на Бахилловской площади, и данные математического моделирования (рис.6) показывают, что на всех основных отражающих горизонтах возникают интенсивные отраженные обменные волны. Данное обстоятельство создает перспективы для совместного использования продольных и обменных (поперечных) волн при решении сложных геологических задач.

На рис.7 представлены исходные сейсмограммы z-, x- и y- компонент общего пункта возбуждения, зарегистрированные трехкомпонентными датчиками DSU3. Компоненты цифрового датчика взаимно-ортогональные: z-компонента направлена вертикально вниз, x-компонента направлена горизонтально и совпадает с направлением по профилю (in-line), горизонтальная y-компонента направлена ортогонально компонентам z и x.

Амплитудные спектры полного волнового поля по z и x компонентам представлены на рис.8.

Значительная часть сейсмограмм осложнена интенсивными приповерхностными волнами. Отсутствие группирования приемников приводит к существенному уровню шума на временах регистрации целевых горизонтов.

Характер сейсмической записи на горизонтальных компонентах отличается от волновой картины на компоненте z. Можно отметить более высокий уровень помех и кинематическое разнообразие регистрируемых волн. Частоты на горизонтальных компонентах ниже и кроме наложения прямой и поверхностной волн на

обменные PS, волновую картину усложняют головные S и монотипные P и S волны. Общий уровень записи на y-компоненте ниже, чем на x-компоненте.

Данные, полученные вертикальными (z) электродинамическими геофонами, были обработаны на первоначальном этапе исследований, и послужили ориентиром для обработки трехкомпонентных данных. Полученные скорости суммирования, статические поправки, а также окончательный суммарный разрез явились важными критериями для сопоставления разных технологий регистрации сейсмических данных и подтверждением корректности использования цифровых акселерометров DSU3. На рис.9 дано сравнение временных разрезов по z-компоненте, полученных при регистрации на цифровые (б) и аналоговые (а) сейсμοприемники.

Хорошо известно, что для обменных волн при фиксированном расстоянии источник-приемник, положение точки обмена изменяется с глубиной. Ввиду несимметричного хода падающего и отраженного лучей обменной PS-волны точка отражения-обмена смещается от средней точки в сторону ПП. Для того чтобы корректно строить изображение среды, необходимо рассчитать смещение точек обмена при формировании сейсмограмм ОТО и последующем суммировании. С помощью процедуры асимптотического бинирования для горизонтальных компонент реализована несимметричная выборка трасс.

На рис.10 дано сопоставление временных разрезов продольных PP- и обменных PS- волн. Для объективного сравнения PS разрез визуально сжат по оси времени в два раза, тем самым имитируется наличие постоянного по глубине соотношения скоростей продольных и поперечных волн. Частотный диапазон по двум разрезам заметно отличается. Очевидно, что коэффициенты отражения на одних и тех же геологических границах для продольных и обменных волн различны. Следовательно, волновая картина для одного и того же интервала разреза энергетически разнообразна. Следует обратить внимание на интервал 1600-2000 мс и 3200-3900 мс временных разрезов продольных и обменных волн соответственно. «Немая» часть временного разреза полученного по PP- волнам, совсем иначе проявляется на разрезе PS- волн. Несмотря на это, наблюдается общая корреляция по основным отражающим горизонтам.

По данным обменных PS-волн на Бахилловском месторождении, с целью прогноза направления преимущественной трещиноватости выполнен анализ анизотропии геологического разреза. Цель работы – проведение поляризационного анализа обменных PS-волн и определение азимутально анизотропных интервалов разреза, а также определение параметров анизотропии и прогноз направлений преимущественной трещиноватости по разрезу.

Анализ поляризации был проведен по горизонту Б в окне 400 мс, что позволило разделить быстрые и медленные поперечные волны во всем исследуемом интервале. Сейсмограммы разделенных отраженных волн приведе-

И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ... ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

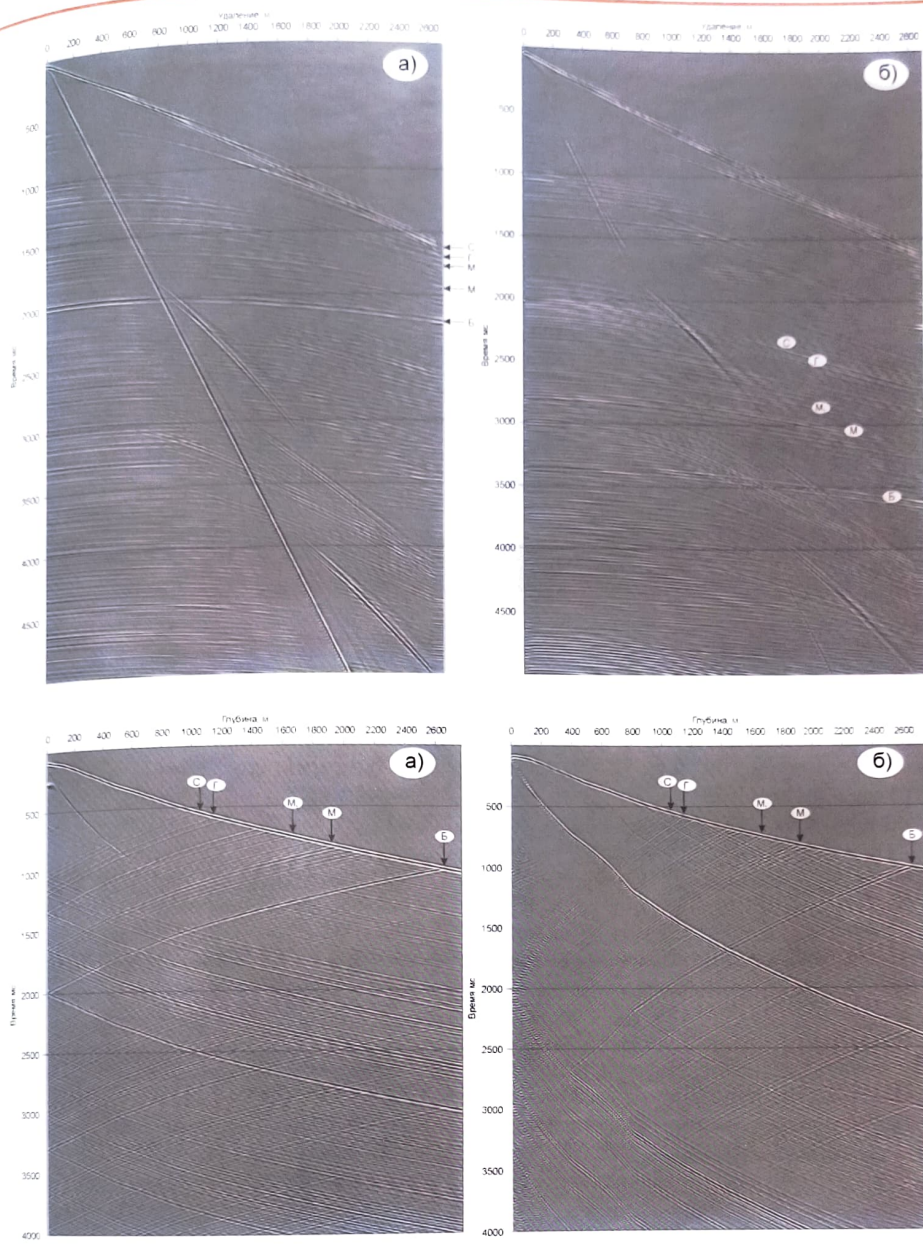


Рис. 6. Синтетические сейсмограммы: 1. МОВ ОГТ, 2. ВСП: а) вертикальная компонента; б) горизонтальная компонента.

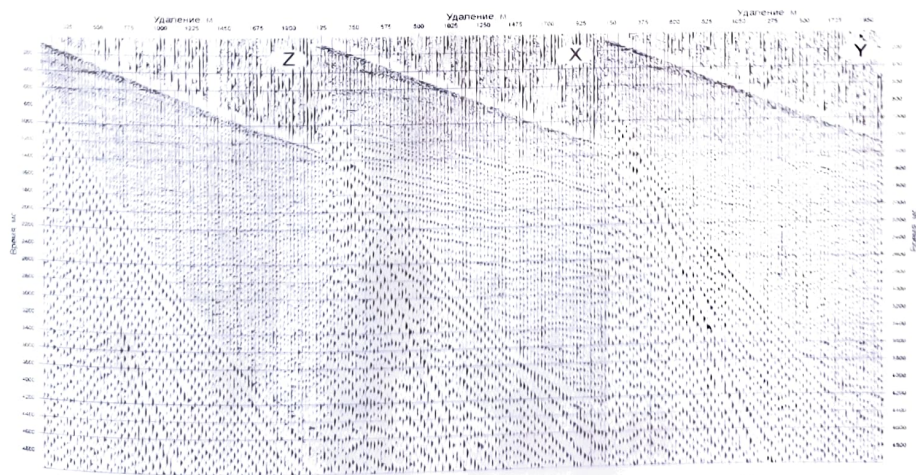


Рис. 7. Исходная сейсмограмма общего пункта взрыва. Z-, X-, Y- компоненты.

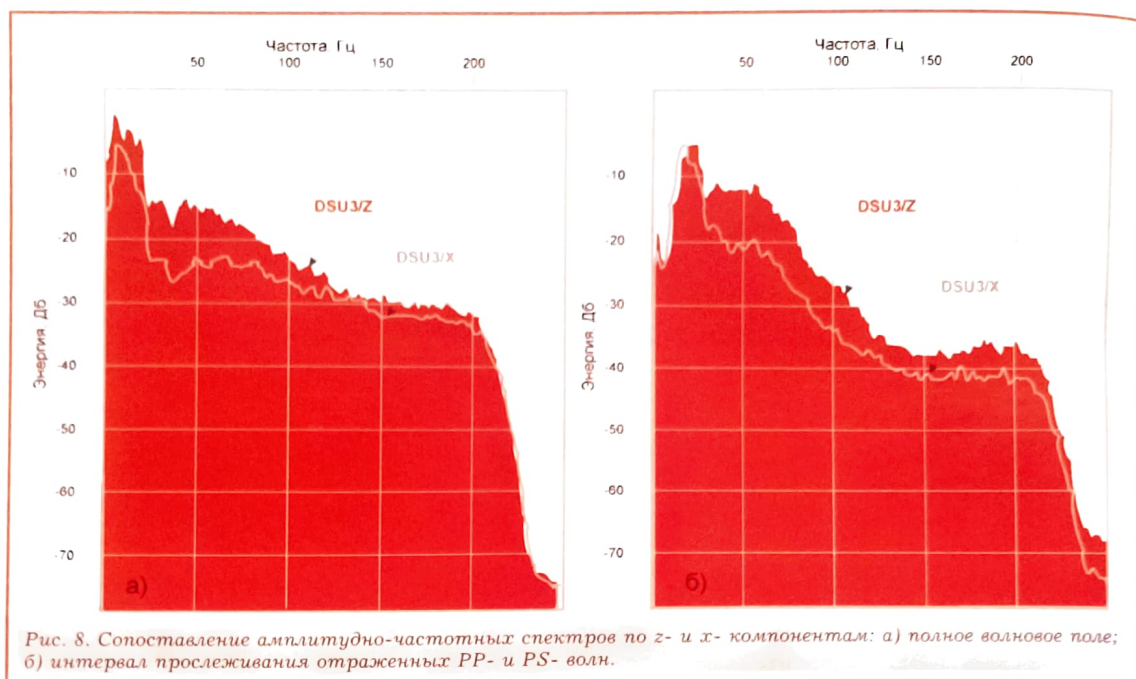


Рис. 8. Сопоставление амплитудно-частотных спектров по z- и x- компонентам: а) полное волновое поле; б) интервал прослеживания отраженных PP- и PS- волн.

ны на рис.11. Графики направления поляризации быстрой поперечной волны и разности времён регистрации быстрой и медленной волны приведены на рис.12.

Проведённые работы позволяют однозначно установить наличие азимутально анизотропных свойств в исследуемом разрезе, вероятно, вызванных наличием направленной трещиноватости, причём распределение параметров анизотропии носит, видимо, блоковый характер.

Одной из наиболее важных возможностей многоволновой сейсморазведки является непосредственное определение одного из упругих модулей горной породы – коэффициента Пуассона σ . Этот параметр в совокупности с V_p и V_s позволяет полнее прогнозировать свойства геологического разреза.

По результатам многоволновых исследований на Бахилловском месторождении выделена аномалия коэффициента Пуассона в интервале юрских отложений ($H=2900-3200$ м, CDP=4070-4300) (Рис.13). Этот интервал по данным бурения соответствует зоне нефтегазонасыщения. Полученный результат демонстрирует перспективность использования многоволновой сейсморазведки для решения задачи оценки характера насыщения коллекторов.

Ольшанский проект.

Согласно программе опытно-методических полевых работ по теме: «Экспериментальные исследования возможностей многоволновой сейсморазведки (МВС)» на Ольшанском месторождении были проведены многоволновые исследования в наземной и скважинной модификациях.

Административно Ольшанская площадь располагается в Оренбургской области. Собственник-недропользователь – ОАО «Оренбургнефть».

В пределах Ольшанской площади отработано 2 наземных профиля общей протяженностью 29 км (ПР2 и ПР5). При регистрации сейсмичес-

кого материала использовалась многоканальная телеметрическая станция SN408. Регистрация упругих колебаний осуществлялась одиночными трехкомпонентными акселерометрами DSU3. Шаг дискретизации при регистрации составляет 1 мс, длина записи – 8.0 с.

Наблюдения проводились по системе МОГТ. Использовалась центральная асимметричная (ПР 5) и фланговая (ПР 2) системы наблюдений с максимальным удалением 3770 м и 3990 м. Пункты возбуждения располагались с шагом 20 метров, расстояние между пунктами приема 10 метров ($\Delta PP=10$ м, $PB=20$ м). Средняя кратность перекрытий по общей средней точке составила 80 (PP- волны).

Источники сейсмических колебаний – вибрационные источники KZ-23A. Длительность свип-сигнала составляла 8 с, граничные частоты – 8-90 Гц, закон изменения частоты излучаемых колебаний – линейный, количество вибраторов в группе – 4 единицы, группа – линейная.

Сейсмогеологические условия в пределах выбранного полигона типичны для Оренбургской области. Зона малых скоростей отличается значительной вертикальной и латеральной изменчивостью упругих свойств со значениями скоростей $V_p=500-1000$ м/с. Её мощность изменяется от 5 до 45 м. Скорость в подстилающих породах от 1400 до 2600 м/с. Для геологического разреза до глубин ~1500 м характерен вертикальный градиент скоростей $V_p=1800-6000$ м/с и $V_s=700-3500$ м/с. Далее поведение скоростей достаточно стабильное, за исключением отдельных интервалов.

На рис.14 представлены исходные сейсмограммы Z-, X- и Y- компонент общего пункта возбуждения (ОПВ), зарегистрированные трехкомпонентными акселерометрами DSU3.

В полосе частот – 10-35 Гц амплитудно-частотные характеристики волновых полей, зарегистрированных на компонентах Z и X, практически не различаются. Основное отличие проявляется для более высокой полосы частот.

И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ... ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

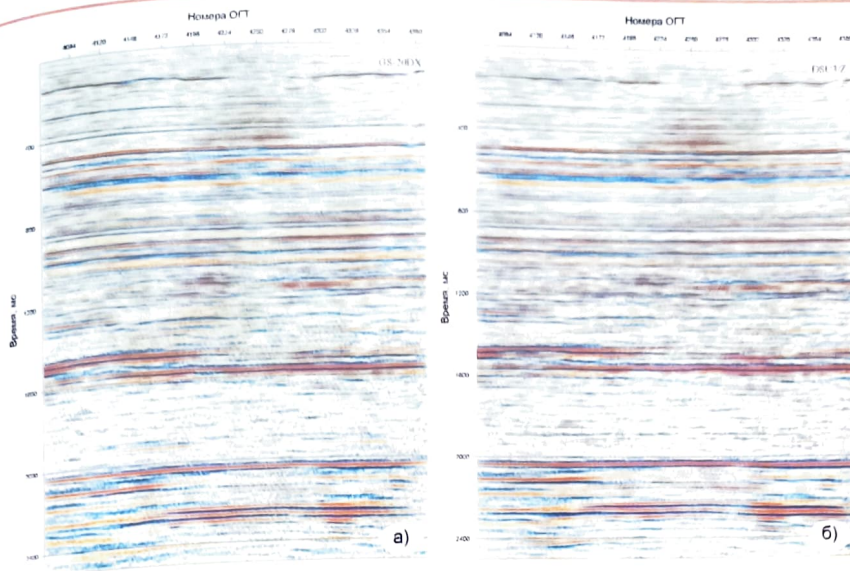


Рис. 9. Временные разрезы по профилю 2D-3C: а) Z- компонента (GS-20DX); б) Z- компонента (DSU3/Z).

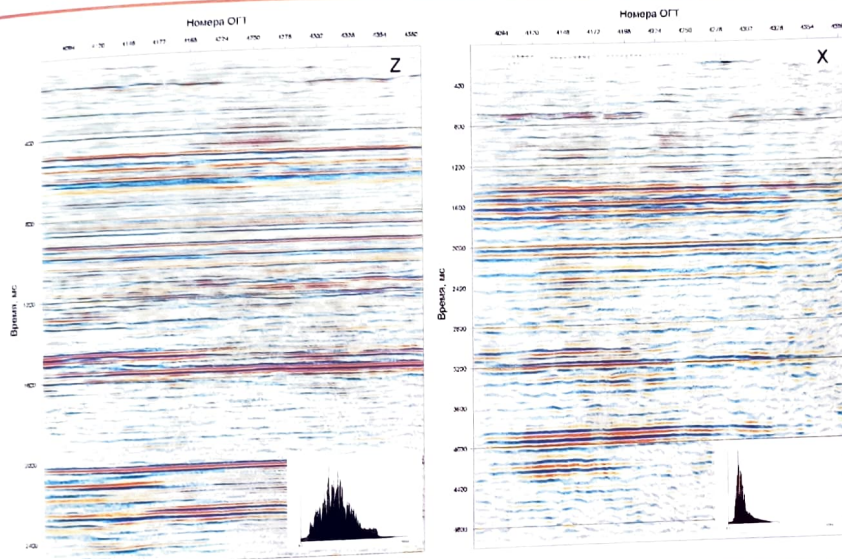


Рис. 10. Временные разрезы по профилю 2D-3C: Z- компонента (PP волны); X- компонента (PS волны).

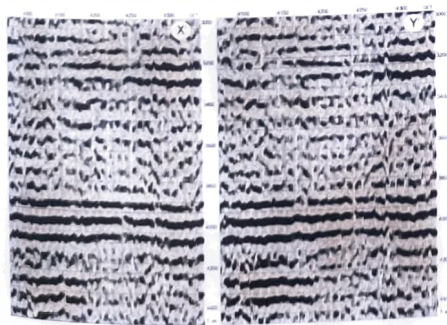


Рис. 11. Фрагменты временных разрезов X'- и Y'-компонент, ориентированных в интервале 3900-4300 мс по вектору смещения быстрой и медленной S- волн.

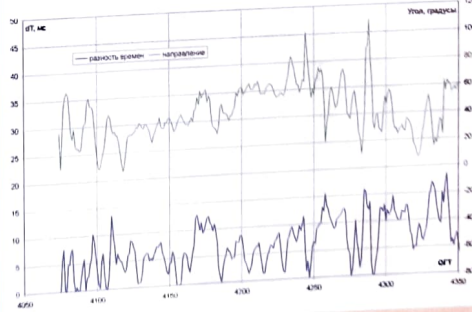


Рис. 12. Графики направления поляризации быстрой поперечной волны и разности времён регистрации быстрой и медленной волн.

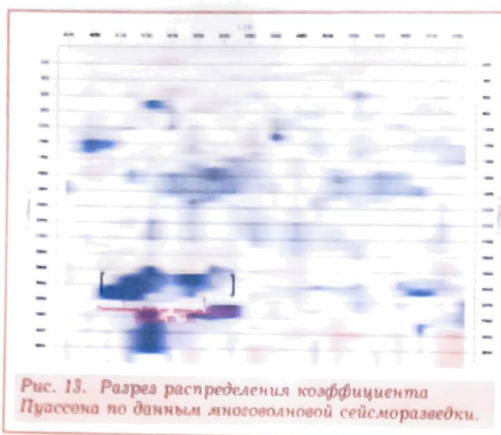


Рис. 13. Разрез распределения коэффициента Пуассона по данным многоволновой сейсморазведки.

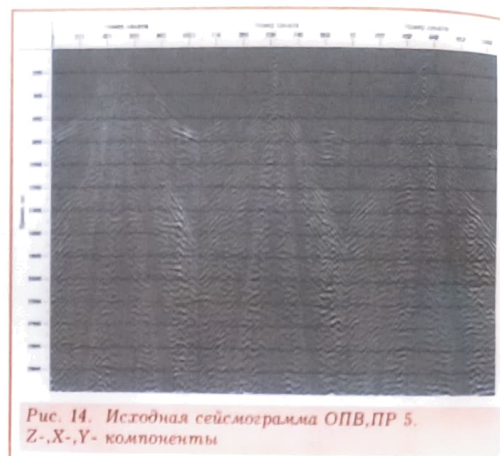


Рис. 14. Исходная сейсмограмма ОПВ.ПР 5. Z-, X-, Y- компоненты

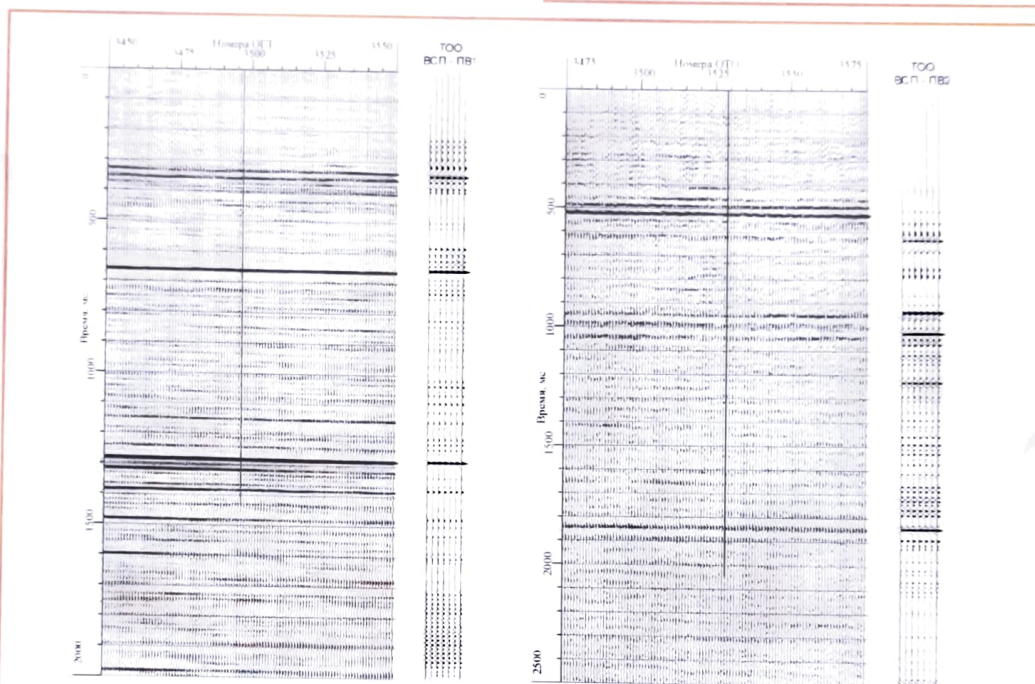


Рис. 15. Сопоставление фрагментов временных разрезов по ПР 5 с траассами однократных отражений ВСП. 1. PP- волны; 2. PS- волны.

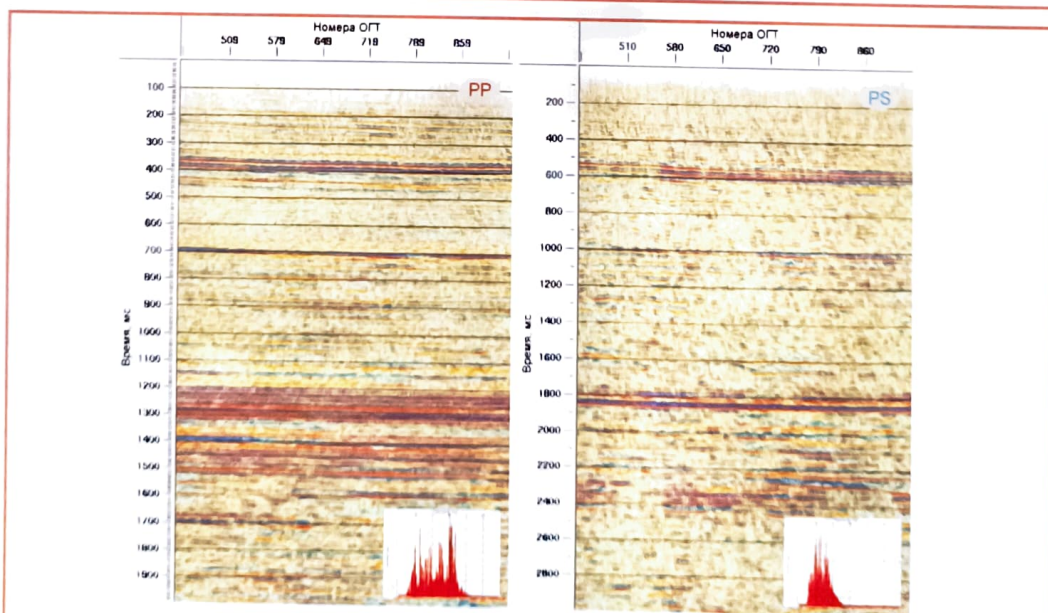


Рис. 16. Сопоставление временных разрезов PP- и PS- волн, ПР 2

Очевидно, что высокочастотная часть записи вертикальной компоненты энергетически выражена сильнее, чем для горизонтальной компоненты.

Окончательные временные разрезы для Z-компоненты были получены суммированием по методу общей глубинной точки ОГТ, а для X- и Y-компонент суммированием по общей точке обмена ОТО. Характер волновой картины по временному разрезу X-компоненты в общих чертах повторяет волновую картину на PP-волнах.

Несмотря на относительную доступность отождествления устойчивых волн разных типов, в большинстве случаев очень важно иметь прямые данные о правильности привязки к геологическим границам (интервалам разреза) по каждой волне в отдельности. На рис.15 приведено сопоставление данных наземных сейсмических исследований с результатом обработки данных ВСП.

На рис.16 дано сопоставление временных разрезов продольных PP- и обменных PS- волн. Для объективного сравнения PS разрез визуально сжат по оси времени в полтора раза. Частотный диапазон по двум разрезам заметно отличается.

Результаты обработки трехкомпонентных данных по Ольшанскому проекту можно оценить как успешные. Отработаны элементы проведения многоволновых исследований. Создан граф обработки многокомпонентных данных. Результаты опробования демонстрируют возможность выполнения обработки в программном комплексе ProMAX.

Выводы и рекомендации.

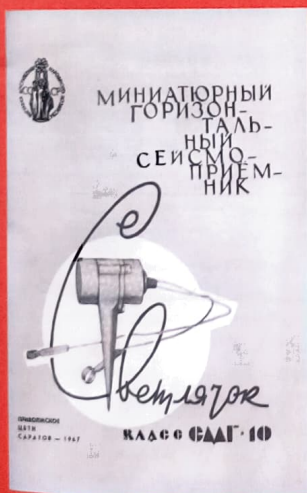
Развитие метода поперечных и обменных волн было начато и продолжается в настоящее время под влиянием расширения круга задач, решаемых сейсморазведкой, одновременно с повышением их сложности. Формируется направление многоволновой сейсморазведки — совместное использование волн, различающихся типом поляризации, по относящихся к одним и тем же исследуемым объектам. В рамках этого направления удаётся повысить достоверность исследования объектов и решать новые геологические задачи на основе изучения особенностей поведения параметра $\gamma = VS/VP$ и изучения параметров анизотропии в интервалах залежи.

Внедрение и методическое развитие ЗС наблюдений МОВ ОГТ создает хорошие перспективы для оптимизации разработки залежей и поиска новых высокопродуктивных объектов. Технологичность этого направления методики сейсморазведочных работ определяется возможностью регистрации продольных и обменных (поперечных) волн цифровыми датчиками.

Использование трехкомпонентных сейсμοприемников позволяет получать гораздо больший объем сейсмической информации, регистрировать полное волновое поле и тем самым корректнее определять упругие свойства горных пород. Применяя для возбуждения упругих колебаний стандартный источник возбуждения Р-волн, можно регистрировать и, соответственно, обрабатывать волны, различающиеся типом поляризации, но относящихся к одним и тем же исследуемым объектам.

ВИРТУАЛЬНЫЙ ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МУЗЕЙ

СЕЙСМОПРИЕМНИК СВЕТЛЯЧОК



ЭКСПОНАТ № 01/2007

В 1967 году началось массовое внедрение во все геофизические организации СССР миниатюрных сейсμοприемников СВЕТЛЯЧОК для регистрации вертикальных (СМВ-15, СМВ-20, СМВ-30) и горизонтальных (СМГ-10) составляющих отраженных волн при проведении полевых сейсморазведочных работ. Эти сейсμοприемники разработало Специальное конструкторское бюро сейсмического приборостроения (г.Саратов). Преимуществами новой конструкции сейсμοприемника СВЕТЛЯЧОК стали: унификация основных деталей и узлов для СП с различной собственной частотой, высокая стабильность в работе и устойчивость к тряске, повышенный гарантийный срок службы (2 года), а так же весьма малые габариты и вес (100 г.), значительно облегчающие эксплуатацию в полевых условиях.

Экспонат предоставлен в виртуальный геотехнический музей З. Никоноровой (ОАО "СКБ СП", г. Саратов)

Критерии оптимальности глубины погружения источника сейсмических колебаний.

С.А. Жгенти «СИ Технополджи Инструментс», г. Геленджик

Уровень развития полевых регистрирующих систем, достигнутый в настоящее время, позволил значительно повысить производительность проведения сейсморазведочных работ и при этом резко сократить число управляемых параметров при оптимизации полевой методики. При составлении технического задания на проведение работ Заказчики, как правило, самостоятельно определяют эти параметры с требуемым «запасом прочности», причем без планирования проведения вспомогательных опытно-методических работ. Важнейшими показателями технического задания стали: кратность перекрытий, допустимое число неработающих каналов, показатели соотношения сигнал/помеха, допустимые нарушения геометрии систем приема, контрольные показатели производительности и, все реже, обоснованный выбор оптимальных условий возбуждения и приема колебаний, а также изучение строения ВЧР. К сожалению, такой запланированный «запас прочности» иногда все же бывает недостаточным. Он, однако, не может обеспечить стабильности динамических характеристик регистрируемых волн в рабочем диапазоне частот для успешного решения динамических задач или получение материала там, где он по физическим основам метода получить не может — к примеру, при работах на поперечных волнах в водонасыщенных болотистых грунтах. Разработка оптимальной методики полевых работ требует учета физических основ метода.

В основе сейсморазведки лежит искусственное возбуждение поля упругих колебаний, потому выбору оптимальных условий возбуждения всегда уделялось и уделяется большое внимание. Остановимся на рассмотрении оптимальных условий возбуждения сейсмических колебаний для источников, расположенных в верхней части разреза (ВЧР). Это по-прежнему актуально, поскольку: во-первых, взрывное возбуждение сейсмических волн, до сих пор широко применяется в практике производственных работ, и, во-вторых, в целях сохранения окружающей среды и повышения безопасности работ все чаще стали использоваться погружные «невзрывные» источники, такие как электроискровые или пневмоизлучатели.

Известно, что оптимальными условиями возбуждения можно считать такие условия, при которых возбуждаются колебания достаточной интенсивности в заданной полосе частот. Частотный диапазон возбуждаемых колебаний обычно выбирается достаточно широким, поскольку он, в конечном итоге, определяет ожидаемую временную разрешенность получаемых результатов.

При применении погружных источников возбуждения выбирают интенсивность воздействия на окружающую среду (тип и вес ВВ, емкость камеры пневмоизлучателя, или напряжение разряда при электроискровом источнике) и

глубину погружения источника. При этом существует обратная зависимость между интенсивностью воздействия и шириной возбуждаемого спектра частот, поэтому глубину погружения выбирают наименьшей, но обеспечивающей уверенную регистрацию отраженных волн от самых глубоких из исследуемых отражающих горизонтов. Часто для обеспечения возбуждения широкополосного сейсмического сигнала применяют рассредоточенные групповые воздействия малой интенсивности или вертикальное накопление воздействий.

Как показывает опыт и общение с коллегами, не все одинаково понимают «хрестоматийную» рекомендацию об оптимальной глубине погружения источника, как «на $1/4$ длины волны под подошву ЗМС», которая учитывает интерференционные явления, происходящие в ближней зоне источника, помещенного в неоднородную геологическую среду. На самом деле в такой рекомендации как минимум две неоднозначности: что такое «подошва ЗМС» и на $1/4$ длины какой именно волны необходимо погружать источник, — потому что возбуждаются колебания в широком диапазоне частот.

Действительно, при погружении источника в неоднородную геологическую среду, на границах изменения акустических свойств, расположенных в его ближней зоне, образуются волны-спутники (рис.1), которые, интерферируя между собой и с прямой волной, формируют суммарный, распространяющийся вглубь среды пакет колебаний — зондирующий сигнал. При выборе оптимальной глубины погружения источника достаточно учитывать только те волны-спутники, которые накладываются на прямую волну с задержкой, не превышающей длительность сейсмического импульса, и, таким образом, участвующие в формировании суммарного зондирующего сигнала. Волны-спутники с большими задержками уже не участвуют в формировании суммарного зондирующего сигнала и могут рассматривать-

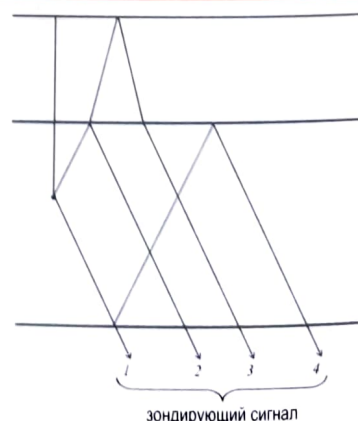


Рис. 1. Структурная схема интеллектуального датчика

ска как частично-кратные волны-помехи.

В работе [1] автором проведено исследование модели образования суммарного зондирующего сигнала при строении ближней зоны источника, приведенном на рис. 1, из которого следует, что приведенное существенный вклад в формирование зондирующего сигнала вносят волны-спутники, образующиеся на акустически резких границах, расположенных выше и ниже источника. Классическим примером такого строения ближней зоны источника может служить мелководье (глубины, не превышающие 20 м), где обе границы [2] имеют высокие значения коэффициентов отражения. При исследованиях на суше обычно достаточно найти в ВЧР наиболее акустически резкую границу, под которую и поместить источник колебаний. Из-за поглощения энергии при распространении в реальных геологических средах и малых величинах коэффициентов отражения, волны-спутники от других границ не оказывают существенного влияния на формирование суммарного зондирующего сигнала.

Амплитудно-частотная характеристика сложения прямой волны и волны-спутника от границы, расположенной выше источника, может быть записана выражением:

$$P = \sqrt{1 + k^2 - 2k \cos\left(\frac{2h \cos \alpha}{\lambda}\right)}, \quad (1)$$

где

k - коэффициент отражения от акустически наиболее резкой границы;

h - глубина погружения источника под акустически наиболее резкую границу;

λ - рассматриваемая длина волны в слое, в который помещен источник (V/f)

α - рассматриваемый угол излучения.

Однако акустически наиболее резкая граница не всегда совпадает с подошвой ЗМС. Такой границей может быть дневная поверхность, граница уровня грунтовых вод, подошва почвенного слоя или подошва слоя вечной мерзлоты. Обычно для обнаружения наиболее акустически жесткой границы используют МСК, но получающиеся результаты не всегда позволяют определить положение акустически наиболее резкой границы, поскольку измеряются только скорости распространения волн и не учитываются плотность отложений и их поглощающие свойства. На практике МСК часто дополняют плотностным (гамма-гамма) каротажем (опыт работ «Краснодарнефтегеофизика»), что позволяет дифференцировать строение ВЧР по акустической жесткости, но неизвестными остаются поглощающие свойства отложений. Наилучший способ изучения ВЧР с целью выделения наиболее акустически жесткой границы - МСК при наблюдении возбуждаемых колебаний на дневной поверхности и во внутренней точке среды (МСК НВТС) [3]. Этот способ позволяет в динамике наблюдать образование волн-спутников, оценивать их интенсивность и интенсивность зондирующего сигнала при каждой глубине погружения источника. Такие наблюдения обычно проводят после изучения ВЧР в каждой из зон, отличающихся по строению.

В вопросе: на 1/4 длины какой волны погружать источник под выделенную границу? -

мнения коллег расходятся особенно широко, и, в основном, потому, что изменились и возможности регистрирующей аппаратуры и возможности самого метода. На самом деле, как видно из анализа выражения (1), такая глубина погружения источника обеспечивает синфазное сложение прямой волны и волны-спутника на выбранной частоте. Если в расчетах используется видимая (преобладающая) частота прямой волны, то погружение заряда на 1/4 длины такой волны обеспечивает использование энергии волны-спутника для усиления амплитуды зондирующего сигнала без изменения его формы (частоты), это - полностью синфазное сложение и энергетически самый выигрышный вариант. Использование такого подхода было оправдано при применении аналоговых систем регистрации с малым динамическим диапазоном, относительно короткими приемными расстановками, малыми значениями кратности перекрытий систем наблюдений, когда еще не стояла так остро задача повышения разрешающей способности метода. Позднее, когда широкое распространение получила цифровая регистрация данных, но её возможности были ограничены 16-ти разрядным АЦП, эта рекомендация предполагала использование в расчетах длины той частотной составляющей сложного колебания, «амплитуду которой необходимо усилить» [4]. При этом обычно ограничивались частотами 80 - 100 Гц, т.к. уверенной регистрации более высокочастотных составляющих препятствовала ограниченная величина мгновенного динамического диапазона, не превышающая 96 дБ. При современном развитии регистрирующих систем, имеющих 24-х разрядные АЦП с мгновенным динамическим диапазоном около 120 дБ, энергию волны-спутника целесообразно использовать для расширения всего спектра регистрируемых частот, что ограничивается применяемой частотой дискретизации. Расчет оптимальной глубины погружения источника при применении современных систем регистрации данных целесообразно проводить по правой граничной частоте применяемого частотного диапазона регистрации [5]. При этом подразумевается,

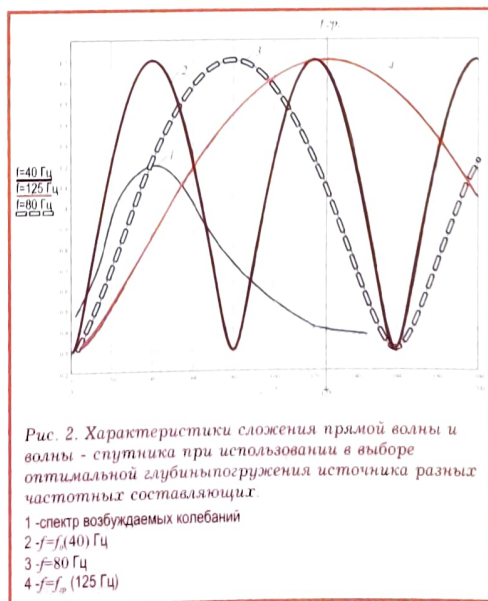


Рис. 2. Характеристики сложения прямой волны и волны - спутника при использовании в выборе оптимальной глубины погружения источника разных частотных составляющих.

- 1 - спектр возбуждаемых колебаний
- 2 - $f=f_d(40)$ Гц
- 3 - $f=80$ Гц
- 4 - $f=f_o(125)$ Гц

И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ... ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

что в спектре возбуждаемых колебаний присутствуют высокие частоты и применяемый частотный диапазон регистрации согласуется с возможностями источника, т.е. выбран обоснованно.

На рис. 2 приведены спектр возбуждаемой прямой волны (1) и характеристики сложения прямой волны и волны спутника, рассчитанные с использованием видимой (преобладающей) частоты возбуждаемой волны (2), частоты, амплитуду, которой необходимо усилить и правой граничной частоты частотного диапазона регистрации (3).

Рассмотрение приведенных кривых покаивает, что при погружении источника на глубину, рассчитанную с использованием правой граничной частоты диапазона регистрации, амплитудно-частотная характеристика сложения прямой волны и волны-спутника значительно больше способствует формированию широкополосного зондирующего сигнала, т.е. энергия волны-спутника оптимально используется на расширение всего спектра регистрируемых частот. В то же время при «стандартно» рассчитанной глубине погружения источника с использованием преобладающей (видимой) частоты возбуждаемой волны, суммарный зондирующий сигнал будет характеризоваться более низкочастотным и изрезанным спектром. В этом случае, при наличии определенного уровня шума, когда применяемый мгновенный частотный диапазон уже не обеспечивает выделение сигнальной компоненты над уровнем шума, некоторые

частоты в зондирующем сигнале могут отсутствовать и полностью (еще в источнике) пропадают перспективы обнаружения этих частотных составляющих и в спектре отраженных волн. Чего же тогда стоят любые интерпретационные заключения по частотам, которые не возбуждались источником, или возбуждались, но с меньшими амплитудами, меньшими уровня шума? Ответ понятен.

Вот такую трансформацию претерпевает хрестоматийная рекомендация об оптимальной глубине погружения источника - «на 1/4 длины волны под подошву ЗМС», в результате развития технических средств сейсморазведки.

Теперь оптимальная глубина погружения источника в ВЧР определяется так: 1/4 длины волны, соответствующей правой граничной частоте рабочего диапазона частот, глубже положения акустически наиболее жесткой границы в ВЧР.

Литература.

1. «Исследование методических приемов для повышения разрешающей способности метода отраженных волн при изучении физических свойств геологических разрезов» - Чернявский В. Е., Шехтман Г. А., Жгенти С. А. Стенограмма 126/81 ВНИИГЕОФИЗИКА, 1984 г.
2. Жгенти С. А. // Сбор сейсмических данных и телеметрия переходных зон. Приборы и системы разведочной геофизики. - Саратов: Издательство Полиграф-Депо, - 2005. - №3.
3. Способ сейсмической разведки. Авт. свид. СССР № 1104449, Чернявский В. Е., Жгенти С. А., 1984 г.
4. Краткие методические рекомендации по проведению полевых работ МСГП получения высокоразрешенных сейсмических разрезов. Чернявский В. Е., Жгенти С. А., МИНГЕО СССР, № 11-5/698, 1985 г.
5. Способ сейсмической разведки. Авт. свид. СССР № 1345843, Шехтман Г. А., 1992.

ООО «ФИРМА»ГЕОСЕЙС»

**Разработка,
производство,
продажа,
импульсных
источников
«ГЕОТОН».**

G

**Предоставление в
аренду
телеметрического
сейсморегистрирующего
оборудования.**

SE

E

N

X

**ШТАБ
ОПЕРАТИВНОЙ
ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ
ПОМОЩИ**

O

**Продажа, сервисное
обслуживание
и предоставление
в аренду сейсмических
вибраторов.**

**Адрес: 123104, г. Москва, Сытинский тупик, д. 3, оф. 2
Тел./факс: (495) 202 32 17, 202 32 27
e-mail: geoseis@col.ru, geoton@geoton.ru, http: www.geoton.ru**

Эволюция технологии изготовления сейсмоприемников

Р.Т. Сафаров, «ОИО-ГЕО Импульс Интернэшнл», г.Уфа

ООО «ОйО-ГЕО Импульс Интернэшнл» является в настоящее время единственным производителем сейсмоприемников в СНГ и лицензиаром Уфимского завода геофизического приборостроения «Геофизприбор», который был одним из соучредителей советско-американского совместного предприятия ОйО-ГЕО японского совместного предприятия ОйО-ГЕО Импульс в 1990 году.

Завод «Геофизприбор» до 1990 года — крупное предприятие, одним из направлений деятельности которого был выпуск сейсмоприемников для полевой геофизики в СССР.

Производство сейсмоприемников в больших масштабах началось в конце 60-х годов и продолжалось практически до 1991 года. Основной моделью выпускаемого сейсмоприемника был СВ-20П, который на тот момент вполне устраивал геофизиков, работавших в основном на станциях типа «ПРОГРЕСС». Конструкция СВ-20П отличалась хорошей технологичностью. Внешний магнитопровод одновременно служил и корпусом, штырь для установки в грунт и крышка сейсмоприемника изготавливались литьем под давлением из алюминиевого сплава. Широко применялись различные станки-автоматы, литейные машины и робототехнические комплексы.

Совершенно другая картина была в обеспечении надежности работы сейсмоприемника и контроля электрических характеристик.

«Сердце» сейсмоприемника — упругие элементы, так называемые ирисовые пружины, изготавливались методом штамповки на прецизионных безазорных штампах, что все же не исключало наличие микрзаусенцев, сильно влиявших на упругие характеристики пружины. Микротрещины, возникающие при штамповке, резко снижали живучесть пружин в процессе эксплуатации из-за возникновения усталостного излома.

Из электрических параметров корректно обеспечивалась только собственная частота, которая регулировалась в процессе настройки с помощью специальной трехлучевой конструкции шайбы. Поворотом этой шайбы изменялась длина рабочей части лучей ирисовой пружины и, как следствие, ее жесткость и собственная частота сейсмоприемника.

Контроль частоты осуществлялся при помощи осциллографа и генератора синусоидальных колебаний по фигурам Лиссажу. Демпфирование также контролировалось по осциллографу, вернее фиксировался факт соответствия материалов, из которых изготовлен каркас катушки и магнитопровод, требованиям технической документации.

Проверка таких, по нынешним временам, важнейших показателей как чувствительность и нелинейные искажения производилась только при проведении периодических испытаний.

Достоинством этого сейсмоприемника можно считать его ремонтпригодность. Прибор

разрешалось разбирать в условиях геофизических партий, заменять упругие элементы, которые в основном выходили из строя, катушку и вновь проверять и регулировать собственную частоту с помощью относительно несложного оборудования.

Поставлялись сейсмоприемники потребителю «россыпью». Каждая геофизическая партия самостоятельно собирала группы собственной конфигурации, соединяя сейсмоприемники при помощи одножильного провода ГСП 0,35 черного цвета, за что геофизики называли группы «пауками». В геофизических партиях все это требовало значительного персонала для ремонта сейсмоприемников и сборки и ремонта «пауков».

В 88-89 годах на заводе «Геофизприбор» была предпринята попытка освоить новый сейсмоприемник СВ2-20ЦМ, с применением новой технологии изготовления пружин методом травления и с новой двухсекционной конструкцией катушки. Планировалось обеспечивать стабильные и одинаковые характеристики пружин с целью получения постоянной собственной частоты прибора без дополнительной регулировки. Однако из-за отсутствия на то время в СССР материала для изготовления упругих элементов (бериллиевая лента) с очень жесткими допусками на толщину, подгонка упругих характеристик осуществлялась методом подтачивания поверхностного слоя пружин. Это приводило к снятию верхнего нагартованного слоя материала, образованию шероховатости, что в конечном итоге резко снижало живучесть сейсмоприемника. Проблемы по обеспечению нормированной чувствительности и демпфирования оставались теми же, что и у СВ-20П. Так или иначе, работы по освоению СВ2-20ЦМ были свернуты.

Настоящим прорывом в технологии изготовления и повышения качества сейсмоприемников необходимо считать освоение на организованном в 1990 году совместном предприятии сейсмоприемника GS-20DX. Принципиальное отличие в технологии изготовления и конструкции заключалось в следующих моментах:

- для изготовления всех входящих деталей применены высокоточные станки с числовым программным управлением, позволяющие изготавливать детали с отклонением не более 0,025 мм;

- для изготовления каркаса катушки применен высокопрочный алюминиевый сплав с нормируемым параметром по электрической проводимости в условиях поставки;

- после механической обработки каркасы катушек дополнительно неоднократно термообрабатываются, и проводимость каждого каркаса контролируется на компьютеризованном робототехническом комплексе, что позволяет обеспечить требуемое затухание катушки в магнитном зазоре сейсмоприемника;

- освоена технология изготовления упругих

И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ...
ПРОМЫСЛОВОЕ

элементов методом травления с обеспечением высокой точности геометрических размеров и их термообработки в соляных ваннах при строго определенной температуре.

Каждый упругий элемент проверяется на компьютерной установке по механическим характеристикам (жесткость и усилие), данные заносятся в банк данных.

Для намотки катушки сейсмоприемника применен провод с жесткими требованиями по погонному омическому сопротивлению, что обеспечивает стабильность общего сопротивления геофона с малым допуском.

100% катушек после намотки подвергаются взвешиванию с точностью 0,01 г и комплектуются в группы по весу с интервалом 0,05 г.

Для обеспечения собственной частоты сейсмоприемника с заданным допуском на компьютере по специальной программе под катушки каждой весовой группы подбирается из банка данных конкретная пара с определенными характеристиками верхнего и нижнего упругого элемента:

- намагничивание геофона осуществляется на компьютеризованной установке, причем сначала идет намагничивание до насыщения магнитной системы и затем ступенчатое размагничивание с контролем: частоты, демпфирования, чувствительности — до обеспечения оптимальных значений этих параметров; в результате рабочая точка работы геофона находится на пологой части петли гистерезиса магнита, что обеспечивает стабильность чувствительности и демпфирования по времени (для справки — сейсмоприемник СВ-20П намагничивался до насыщения без дополнительного размагничивания, в результате чего со временем происходило снижение магнитного потока в зазоре и, как следствие, снижение демпфирования и повышение чувствительности);

- после намагничивания и предварительного контроля параметров еще окончательно несобранный сейсмоприемник проверяется на автоматизированной тестирующей станции.

Годные приборы направляются на окончательную сборку. После окончательной сборки геофоны повторно проверяются автоматизированной тестирующей станцией с регистрацией всех параметров.

В процессе эксплуатации, как и в процессе испытаний, ударную нагрузку воспринимают упругие элементы сейсмоприемника, причем направление удара носит хаотичный характер, поэтому к стабильности механических характеристик предъявляются особо жесткие требования.

На Рис.1, где дана упругая характеристика пружины сейсмоприемника, точка 1 по оси перемещений соответствует положению, когда внутреннее и наружное кольцо упругого элемента находятся в одной плоскости и характеристика имеет линейный характер (участок «а-в»), что соответствует рабочей точке сейсмоприемника.

Частота в данном случае определяется жесткостью пружины или тангенсом угла касательной в точке «е», нелинейные искажения в точке «е» имеют минимальные значения. При эксплуатации сейсмоприемника происходит проседание пружины, и рабочая точка смещается на участок «о-а». В результате увеличения жесткости происходит увеличение собственной частоты и, за счет нелинейного участка характе-

ристики, — увеличение нелинейных искажений.

Величина смещения рабочей точки оценивается изменением параметра «центровка», который определяет смещение поперечной оси катушки относительно поперечной оси магнитной системы и измеряется в тысячных долях дюйма. Изначально в процессе производства закладывается несколько завышенное значение центровки, т.е. выбирается участок «с-в» характеристики с тем, чтобы в процессе эксплуатации рабочая точка оставалась на линейном участке «а-в».

Величина ухода центровки в большей степени, наряду с качеством материала и термообработкой, зависит от конструкции упругого элемента, от конфигурации лучей ирисовой пружины. Лучи при работе находятся в сложно напряженном состоянии, что неизбежно вызывает со временем остаточные деформации и смещение рабочей точки.

В результате длительной и кропотливой работы сотрудников фирмы ОИО ГеоСпейс были разработаны новые модели сейсмоприемников GS-30CT и GS-32CT с конструктивными изменениями, как упругих элементов, так и конструкции в целом, направленных на обеспечение стабильности характеристик пружин. Это в первую очередь коснулось конструкции упругих элементов и их фиксации в каркасе катушки. Очень важным моментом в работе упругих элементов является качество крепления наружного кольца в конструкции GS-30CT, GS-32CT. Если в сейсмоприемнике GS-20DX наружное и внутреннее кольцо упругого элемента в каркасе

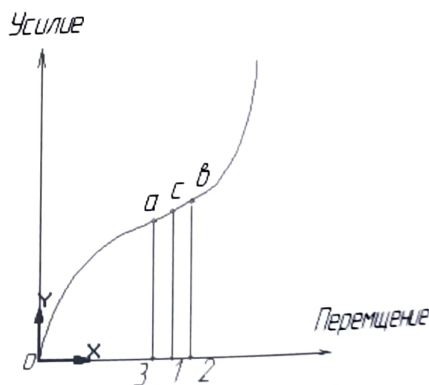
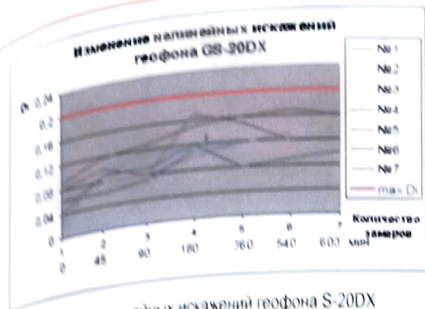
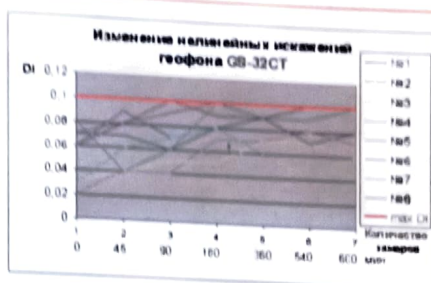


Рис. 1. Упругая характеристика пружины

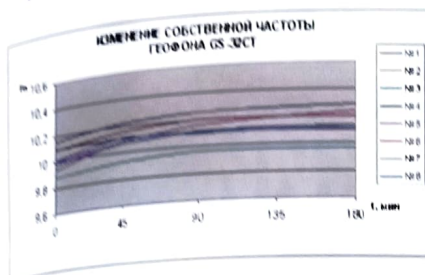
катушки не зафиксировано и имеет возможность перемещаться в пределах допусков на изготовление, то в сейсмоприемниках GS-30CT, GS-32CT наружное кольцо зафиксировано специальным стопорным проволоочным кольцом и опорной шайбой. В результате этих мероприятий существенно повысилась качество и стабильность параметров сейсмоприемников. В первую очередь это собственная частота и коэффициент нелинейных искажений. Изменение центровки после испытаний для сейсмоприемников GS-30CT, GS-32CT существенно ниже по сравнению GS-20DX и, следовательно, изменение собственной частоты и нелинейных искажений в процессе эксплуатации значительно ниже. Графики изменений параметров во времени приведены на Рис.2.



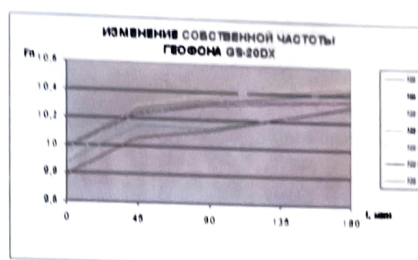
Изменение нелинейных искажений геофона S-20DX



Изменение нелинейных искажений геофона S-32CT



Изменение собственной частоты GS-32CT



Изменение собственной частоты GS-20DX

Рис. 2.

Напрашивается вывод, что можно достичь параметров GS-30CT, GS-32CT путем простого отбора сейсмоприемника GS-20DX с минимальными отклонениями параметров от номинального значения, но, однако, изменение центровки в процессе эксплуатации делает такой отбор полностью нерентабельным — конструкция пружины не позволяет достичь желаемого эффекта.

Дальнейшее повышение качества электродинамических сейсмоприемников в части надежности и точности параметров следует видеть в совершенствовании конструкции упругих элементов, качестве исходных материалов для изготовления входящих деталей и, естественно, в совершенствовании технологий.

Для освоения природных богатств северо-восточных районов России «ОЮ-ГЕО Импульс» предлагает:

Учитывая климатические и рельефные условия (горы, леса, озера и др.), требующие иного подхода при проведении разведочных работ, мы освоили и предлагаем заказчикам целое семейство геофонов в болотных корпусах, а именно:

- группы геофонов различных схем;
- 1-, 2-, 3-х и 6-геофонные болотные корпуса, снабженные разъемами типа КСК, LCK с позолоченными контактами, а также традиционными разъемами типа KCL-4FA.

Поскольку в этих районах разворачиваются нефтеразведочные работы, мы освоили и выпускаем скважинные многоканальные косы с блоками датчиков с прижимным устройством, с вертикальным геофоном (однокомпонентные), двухкомпонентные (вертикальные и горизонтальные датчики и трехкомпонентные X,Y,Z)

ные X,Y,Z)

Эти косы предназначены для исследования ВЧР и проведения ВСП в разведочных скважинах глубиной до 150м. В трехкомпонентной косе все компоненты ориентированы одинаково.

Скважинные косы используются также в инженерных целях, а также специалистами МЧС.

Учитывая рельеф местности, нетрудно предположить, что в этих районах не будут широко использоваться многоканальные системы I/O и Sercel-388. Упор делается на более легкие и подвижные, но с меньшим количеством каналов типа Sercel-408, 428 UL, Fairfield и Aram-Aries. Мы готовы в своем кабельном производстве освоить телеметрические кабели и косы для этих систем.



МЕХАНИЧЕСКИЙ ЦЕХ-

там, где начинается высокое качество
сейсмоприемников

И.А. Смирнов, «ОЙО-ГЕО Импульс Интернэшнл», г.Уфа

Важное место в организации производства сейсмоприемников на предприятии занимает механический цех, который в настоящее время представляет из себя высокоорганизованное, специализированное подразделение по изготовлению деталей сейсмоприемников. При его организации в первую очередь решались задачи обеспечения высокого качества деталей и высокой производительности работы оборудования в условиях крупносерийного производства. На переданном учредителем ПО «Геофизприбор» универсальном токарно-фрезерном оборудовании такие задачи решить было невозможно. Для подбора оборудования специалисты СП в начале 90-х годов посетили несколько станкостроительных предприятий, выпускающих станки с числовым программным управлением

(ЧПУ). В результате, в качестве поставщиков станков с ЧПУ были выбраны: Савеловский машиностроительный завод, Кировский электромашиностроительный завод им. Лепсе и Каунасский станкостроительный завод. Приобретение станков этих предприятий позволило успешно решить задачу обеспечения качества деталей и в целом освоения производства, после чего было принято решение на оснащение производства этим оборудованием.

Переезд в новое здание в 2002г. стал началом нового этапа в совершенствовании механообработывающего производства. Возросшие объемы производства и приближающийся физический и моральный износ работающего оборудования потребовали применения более совершенного и производительного оборудования. Большую помощь в этом нам оказали ОАО «Стерлитамакский МТЕ», НПП «ИЖПРЭСТ» г. Ижевск и Савеловский машиностроительный завод, с которыми мы работаем уже несколько лет.

Стерлитамакский станкостроительный завод на базе своего токарного станка с ЧПУ 160НГ разработал и в ноябре 2003г. нам поставил высокооборотный, высокоточный специализированный прутковый автомат с ЧПУ для обработки каркаса катушки геофона. За три года при работе в 3 смены этот станок выдал более полумиллиона деталей. Сегодня у нас работает уже 6 таких станков, обеспечивающих изготовление 120тыс. деталей в месяц.

В 2003г. большую проблему нам помог решить НПП «ИЖПРЭСТ» г. Ижевск. На базе



Модернизированный станок ТПК-125, Савеловский машиностроительный завод, 2007г.



Фрезерно-токарный станок ТАП-130
«Стерлитамак-МТБ» 2007г.



Токарный автомат 160 НТ «Стерлитамак МТБ»

соединенного токарного станка ТПК 125А был разработан и изготовлен фрезерно-сверлильный станок с двумя фрезерными и одной сверлильной приводными головками. На сегодняшний день мы имеем 3 таких станка, которые обеспечивают обработку 100 тыс. деталей в месяц. На стадии испытаний находится четвертый станок.

В связи с тем, что станки с ЧПУ выпускаются в основном физическим и морально устаревшим оборудованием «Стерлитамакским и Ярославским заводам по их модернизации. Организация первых станков позволяла за счет модернизации оборотов шпинделя и быстрого вращения ЧПУ повысить их производительность на 30-35%.

Современное оборудование требует примене-

ния современного режущего инструмента. В этом направлении также ведется активная работа, в частности по использованию державок со сменными многорановыми пластинами (СМП). Мы получаем инструмент фирмы «Sandvik», «KORLOY», «DIJET», планируем установить связи с «ISCAR».

Производство современных сейсмоприемников, обеспечение их высокого качества напрямую связано с необходимостью использования в процессе производства высокосортного металлорежущего оборудования с высокой степенью его автоматизации, применением активных методов контроля с использованием лазерной техники, применением самого современного режущего инструмента. Именно в этом направлении мы работаем и именно таким мы видим наш механический цех в ближайшем будущем.

Измерительно-тестирующие комплексы, используемые при производстве геофонов.

1. Как известно, основным параметром геофона является собственная частота. В нашем производстве оно обеспечивается точным подбором пар пружин (верхней и нижней) с учетом массы катушки.

Для этого у нас имеются измерители параметров пружин (гейджеры), которые с точностью 0,3 г измеряют 2 параметра: массу приведения к нулю (g_1) и жесткость пружины (g_{lim}).

2. Важным параметром является коэффициент затухания, который зависит от проводимости материала каркаса катушки и индукции магнита. Роботизированный измеритель проводимости каркасов очень четко справляется с этой

задачей.

3. Важным моментом в процессе сборки является процесс намагничивания и приведение параметров к номиналу с возможной точностью путем частичного разматывания по заданной программе. Этот процесс производится до завальцовки крышки на магнетизере.

4. Готовые (завальцованные) геофоны тестируются на автоматической тестирующей станции (системе) АТС, которая паспортизует одновременно 64 геофона по 7 основным параметрам за 3 мин.

5. Для тестирования и паспортизации групп геофонов применяется компьютеризованная система для групп.

И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ... ЭКСКУРСИЯ

О механической прочности и герметичности групп геофонов

В.И. Дудин, «ОИО-ГЕО Импульс Интернэшнл», г.Уфа

Несколько лет назад у потребителей нашей продукции возникали проблемы, связанные с качеством групп геофонов. В основном эти проблемы были связаны с недостаточной прочностью корпусных деталей и с наличием утечек и потерей герметичности групп сейсмоприемников.

В то время корпусные детали изготавливались из композиционного материала «Пластизар» на основе поликарбоната. Из-за нестабильности качества материала часть корпусных деталей после изготовления имела высокий уровень внутренних напряжений, вследствие чего при воздействии внешних факторов (низкая температура, резкие колебания температуры в течение суток, механическое воздействие на корпус) корпусные детали теряли свои прочностные свойства.

С целью устранения этих недостатков специалистами нашего предприятия была проведена работа по поиску и выбору нового конструкционного ударопрочного, термостабильного стеклонаполненного полиамида. Механические свойства данного материала приведены в таблице 1.

Эффективность выбора стеклонаполненного полиамида подтверждена комплексом испытаний:

- проверка стойкости к химическим веществам;
- проверка прочности при выламывании штыря;
- проверка прочности после воздействия ультрафиолетового облучения;
- проверка прочности после выдержки при пониженной температуре -50°C ;
- проверка прочности после испытаний на термоциклы $+70^{\circ}\text{C} - -20^{\circ}\text{C}$.

Всего 8 циклов.

Результаты сравнительных испытаний прочности при выламывании штыря приведены в таблице 2 и фотографии.

Были проведены работы по отработке литниковой системы технологических режимов литья.

С целью улучшения герметичности была выполнена конструктивная доработка корпуса и штуцера, заменен материал штуцера. Ранее штуцер изготавливался из резиновой смеси на основе нейтрального каучука и имел следующие недостатки:

- становился твердым при воздействии пониженной температуры ниже -30°C ;
- при воздействии солнечной радиации на поверхности штуцера появлялась сеть трещин.

В 2005 году для изготовления всех видов

Таблица 1.

Наименование показателя	стеклонаполненный полиамид	Пластизар
Прочность при разрыве МПА не менее	130-160	45-54
Изгибающее напряжение при разрушении МПА не менее	180	70-75

Таблица 2.

Наименование показателя	Изгибающий момент кг м	Состояние корпуса после испытаний
Корпус отлитый из стеклонаполненного полиамида	9,5 - 10	Без разрушений и изменений изгиба штыря
Корпус отлитый из пластизара	6,5 - 7	Побеление пластмассы, возникновение микротрещины
Корпус китайского производства	5,5 - 6	Деформация пластмассы, выход штыря с вкладышем из пластмассы

штуцеров стала использоваться новая одностадийная силиконовая резина, стойкая к солнечной радиации и работающая при температурах от



Рис. 1. Корпуса после испытаний.

минус 60°C до плюс 180°C .

Все собираемые группы сейсмоприемников проходят 100% контроль герметичности и тестирования параметров на автоматической тестирующей станции.



Рис. 2. Тестирование групп сейсмоприемников.

Производство кабеля для полевой сейсморазведки.

С.Н. Козловский, «ОИО-ГЕО Импульс Интернэшнл», г.Уфа

До создания собственного кабельного производства наше предприятие уже имело значительный опыт эксплуатации кабельных изделий в составе групп сейсмоприемников. Были известны и основные требования к телеметрическим и основным сейсмическим кабелям. Вместе с тем, наличием быстрого реагирования на требования геофизических компаний к используемым разным типам геофизического кабеля, стремление к обеспечению возможности оперативного внесения изменений в конструкции групп сейсмоприемников, телеметрических и линейных сейсмических кабелей по результатам их эксплуатации в реальных полевых условиях - все это и подвигло нас на создание собственного кабельного производства.

Основная задача при организации производства кабеля для полевой сейсморазведки заключалась в обеспечении выпуска продукции не просто с параметрами, аналогичными параметрам телеметрических, линейных и полевых кабелей других производителей, но и намного превосходящими их по качеству и главной цене. При этом, как показал проведенный анализ, основные проблемы при эксплуатации геофизической аппаратуры, в состав которой входят группы сейсмоприемников, телеметрические и линейные кабели, были связаны с показателями механической прочности и ремонтопригодности кабелей в полевых условиях.

В качестве первого вида изделия, выбранного для освоения в производстве, был взят полевой геофизический кабель серии КПСП - кабель полевой сейсмический. Эта серия кабелей предназначена для комплектования групп сейсмоприемников.

Основная задача по улучшению кабеля заключалась в следующем:

- обеспечить высокую механическую прочность кабеля без ухудшения электрических параметров;
- сделать оболочку кабеля из материала,

позволяющего отпугивать грызунов;

-предотвратить примерзание к кабелю к грунту в межсезонный период;

-добиться максимальной гибкости изделия при отрицательных температурах;

-предотвратить налипание грязи, снега, на кабель;

-уменьшить себестоимость групп сейсмоприемников.

Конструкция групп сейсмоприемников предусматривала изготовление двух- и трех- жильного кабеля. Парк оборудования для изготовления полевого кабеля подбирался таким образом, чтобы обеспечить полный цикл производства, за исключением изготовления токопроводящей проволоки как самой энергоемкой операции.

С учетом конструкции кабеля потребовалось следующее оборудование:

А) высоко производительная крутильная машина на воздушных подшипниках с системой скрутки 1+6, обеспечивающая качественную и стабильную скрутку неизолированных токопроводящих жил на высокой скорости.

Б) крутильная машина с системой скрутки 1+3 для скрутки изолированных токопроводящих жил.

В) универсальная экструзионная линия, обеспечивающая стабильное качество нанесения изоляции из кабельной композиции сополимера на токопроводящие жилы и возможность нанесения защитной оболочки на скрученные изолированные жилы, с системой контроля диаметра, эксцентриситета и датчиком контроля повреждения изоляции во время технологического процесса.

Для улучшения прочностных характеристик кабеля групп сейсмоприемников была изменена конструкция токопроводящих жил путем замены конструкции токопроводящих жил диаметром с 0,2мм (7х0,20мм) на 0,3мм (7х0,30мм).

Благодаря этому прочностная характеристика кабеля увеличилась с 80кг до 100кг на разрыв. За счет увеличения сечения токопроводящих жил сопротивление уменьшилось со 180 Ом/км до 96

ПРОИЗВОДСТВО И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ...

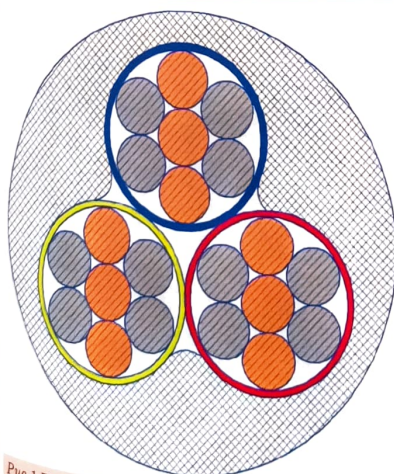
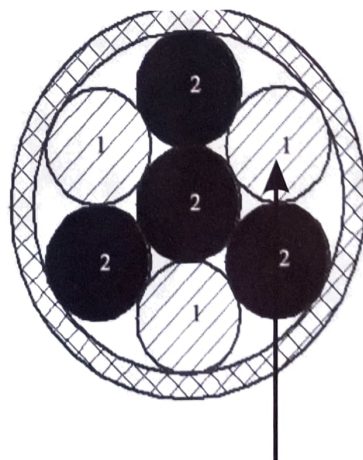


Рис.1. Поперечный разрез кабеля КПСП-3 для комплектования параллельно соединенных групп сейсмоприемников, конструкция токопроводящей жилы 7х0,20мм., внешний Ø 5,3мм.



Изолированная токопроводящая жила КПСП

Рис.2. 1-медно луженая проволока Ø 0,3мм
2-стальная оцинкованная проволока Ø 0,3мм.

Telcels200» (компания Fairfield Industries США) и «Agam-Aries» (компания Geo-X Systems Ltd, Канада).

Внедрением в эксплуатацию современного тестирующего комплекса на основе лазерных приборов, обеспечивающего контроль нанесения изоляции на токопроводящую жилу, удалось достигнуть высокого качества изготовления изолированной жилы и, соответственно, улучшения высокочастотных параметров телеметрического кабеля.

Благодаря тестирующему комплексу BetaScan1000, взаимные влияния для трансмиссионных пар кабеля KCT 16 на частоте 10 МГц составили 42 дБ, а для аналоговых пар при 100 Гц - 100 дБ.

Специально подобранные шаг и равномерность скрутки пар позволили снизить емкостной баланс скрученных пар с 2% до 1%.

Весь выпускаемый кабель проходит выходные испытания.

Простая проверка целостности цепи с помощью тестера не может определить качество готового изделия. Для этого потребовалось внедрить в производство точный тестирующий комплекс, работающий непосредственно с регистрирующим модулем сейсморегистрирующей системы Input/Output (I). Управление тестирующей установкой осуществляется с помощью программы CABLE COMMANDER, работающей в среде Windows9x.

Тестирование кабеля или телеметрической косы проводится по следующим параметрам:

- Сопротивление — контролируется омическое, сопротивление токопроводящих жил кабеля при постоянном токе, Ом;

- Полярность — контролируется правильность раскладки разъемов кабеля;

- Длина — контролируется соответствие строительной длине секции телеметрического кабеля (строительная длина секции телеметрического кабеля 330 метров);

- Коэффициент передачи (затухание) - тест на потери при распространении сигнала в кабеле. Одним из факторов, влияющих на затухание, является диэлектрическая проницаемость между проводниками. В связи с этим повышаются требования к материалу, используемому для изоляции токопроводящих жил. При тестировании кабеля величина затухания должна быть не более 25 дБ.

- Коэффициент отражения — данный тест является полезным инструментом оценки высокочастотной годности кабеля. При тестировании

кабеля величина обратных потерь должна быть, не менее 22 дБ.

Внутренние утечки — измеряется сопротивление между токопроводящими жилами, что позволяет выявлять нарушенную изоляцию. Этот тест показывает, насколько работоспособен кабель в настоящий момент и как долго этот кабель будет работать в дальнейшем. Например, кабель с внутренней утечкой 5-10 Мом может быть еще работоспособен, но выход его из строя неизбежен.

Внешние утечки — проверяется целостность наружной оболочки кабеля. Эта процедура часто проводится в баке с водой и основывается на том, что электропроводная вода всегда найдет скрытые нарушения целостности внешней оболочки кабеля. Данную процедуру проходят все телеметрические косы, пришедшие на ремонт после длительного срока эксплуатации в сейсморазведочных компаниях. Эта процедура полезна при обнаружении любого общего механического повреждения кабеля, в особенности повреждений наносимых животными. Визуальный осмотр кабеля может быть затруднен и не всегда даст убедительные результаты.

Взаимное влияние каналов — низкочастотные испытания проводятся для определения качества изоляции токопроводящих жил. Эффект взаимовлияния между соседними парами проводников весьма нежелательное явление для сейсмических каналов. Взаимодействие может быть омическим, емкостным или индуктивным, причем роль последних возрастает по мере увеличения частоты. Зачастую источником взаимных влияний является неправильная сборка пар в общую скрутку, при которой происходит перехлест аналоговых и телеметрических пар. Тесты на целостность цепи и на утечку эту неисправность не выявят. Для этого требуется дополнительный тест, суть которого заключается в подключении сигнала к одной из пар и измерении уровня сигнала на соседней паре. Величина взаимных влияний между тестируемыми парами должна быть порядка 100 дБ.

Контроль качества кабеля в процессе его изготовления является ключевым фактором, обеспечивающим конкурентоспособность продукции. Специалисты «ОИО-ГЕО Импульс Интернэшнл» считают вопросы обеспечения качества продукции своей первостепенной задачей. И это дает нам уверенность в том, что продукция нашего предприятия всегда будет пользоваться спросом у российских геофизиков.

Встречи на Волге

Саратов / 4-6 сентября / 2007



СКБ СЕЙСМИЧЕСКОГО
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ



ОАО «Саратовнефтегеофизика»

Десятая - юбилейная, научно-техническая конференция "Современные технологии регистрации геолого-геофизических данных при проведении поисково-разведочных работ на нефть и газ"

Очередная встреча профессионалов, тем или иным образом связанных свою деятельность с регистрацией полевых данных нефтяной геофизики, вновь состоится в первую декаду первого месяца осени и вновь в Саратове, где представлен весь спектр геофизических организаций самого разного профиля научно-исследовательских, учебных, проектных, разведочных, промысловых, приборостроительных, в городе с глубокими традициями в развитии геофизической мысли.

Заявки на участие в конференции и тезисы выступлений принимаются до 25 августа 2007 г. В заявке необходимо указать Ф.И.О. участников, темы доклада, необходимость выставочных площадей.

ОРГКОМИТЕТ **ГЕОТЕХ - 2007**

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

Организаторы конференции ждут старых друзей и приглашают новых участников.

ТЕСТЕР ОБРЫВОИСКАТЕЛЬ СЕЙСМОКОС ТОК - 01

Предназначен для поиска и обнаружения скрытого места обрыва токопроводящих жил телеметрического кабеля различных фирм производителей "I/O", "Sersel" и определения целостности цепей в условиях полевых сейсмопартий

- Точность обнаружения локальных зон скрытого обрыва +/- 5 мм
- Диапазон рабочих температур: -40 +60 °C
- Номинальное рабочее напряжение 5 В
- Ток потребления 50 мА
- Питание от четырех аккумуляторных батарей "AA" напряжением 1,2 В



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

ОЙО-ГЕО ИМПУЛЬС ИНТЕРНЭШНЛ

450001, Башкортостан, г.Уфа, ул. Кировоградская, 36

тел. (3472) 25-39-73

факс (3472) 24-73-44

E-mail: geoimp@ufanet.ru

<http://geoimp.on.ufanet.ru>

www.intromarin.ru

XZone

ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

BOTTOM
FISH

MARSH
LINE

FLY
LANDER

МОРЕ

ТРАНЗИТНАЯ
ЗОНА

СУША

...работают везде...



СИ Технолоджи
www.intromarin.ru

353477 Россия, Краснодарский край, г. Геленджик, ул. Ручейная, 6
тел.: (86141) 26615, 26511, факс: (86141) 26601, e-mail: office@intromarin.ru