

Почувствуйте разницу!

Об опыте разработки и внедрения высокочувствительных сейсморазведочных датчиков нового поколения

- Агафонов В.М., Курков С.В., Егоров И.В., ООО «ИГЕО», г.Москва
- Слонов Д.Н.

Центр молекулярной электроники МФТИ в партнерстве с компанией «Р-сенсорс» успешно занимаются разработкой датчиков инерциального движения и систем на их основе. Организации ведут исследования в таких областях, как молекулярная электроника, электрохимия, сейсморазведка, сейсмология, геофизика и инерциальная навигация.

За это время группа компаний «Р-сенсорс» приобрела статус лидера в области разработки и производства отечественного сейсмологического оборудования, которое она продает больше чем в 15 стран мира. Приборы, серийно изготавливаемые в Р-сенсорс, построены на принципе молекулярно-электронного преобразования. В отличие от традиционных широкополосных приборов, молекулярно-электронные датчики являются более простыми и надежными инструментами, устойчивыми к механическим воздействиям, возникающим в процессе переноски, упаковки-распаковки и транспортировки.

Отличительной особенностью молекулярно-электронных преобразователей является исключительно высокая чувствительность и высокая крутизна преобразования механического сигнала в электрический ток, а также широкий частотный и динамический диапазоны. Данные свойства обеспечивают возможность создания сейсмодатчиков – геофонов и акселерометров с частотой среза на низких частотах от тысячных долей герца и до частот порядка килогерца.

Среди самых перспективных разработок группы компаний «Р-сенсорс» выделяются сейсмодатчики (геофоны и акселерометры), предназначенные для поиска

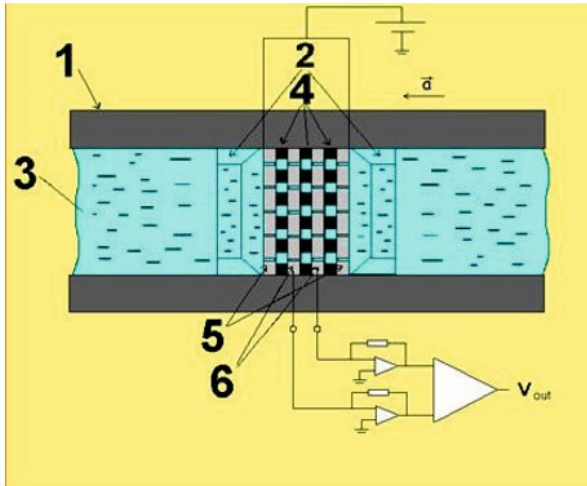
нефти и газа, создаваемые под брендом «ИГЕО» (www.igeosensors.com). Специально созданная для реализации этого проекта компания ООО «ИГЕО» сумела привлечь финансирование со стороны Фонда посевных инвестиций Российской Венчурной Компании (ФПИ РВК) и Фонда Сколково, провела полевые работы, подтверждающие эффективность использования разработанных приборов, а также получила положительные отзывы от экспертов отрасли - крупных нефтедобывающих и нефтесервисных компаний, заинтересованных в повышении точности результатов сейсморазведочных исследований.

Принцип работы молекулярно-электронных датчиков.

Принцип действия молекулярно-электронных датчиков движения основан на механизме конвективно-диффузионного переноса заряда между электродами преобразователя в условиях вынужденной конвекции, возникающей при наличии внешнего механического воздействия. Важнейшим отличием молекулярно-электронных датчиков от инерционных измерителей параметров движения других типов является то, что в нем роль инерционной массы играет рабочая жидкость — раствор электролита, протекающий через преобразователь вследствие внешнего механического воздействия.

Основным элементом таких приборов является молекулярно-электронный преобразователь, схематично показанный на Рис. 1. Внутри трубки 1, выполненной из диэлектрического и химически стойкого материала и заполненной раствором электролита 2, расположены

две пары перфорированных электродов 3 и 4, обеспечивающие возможность свободного протекания жидкости через электродный узел в случае возникновения движения электролита в трубке преобразователя.

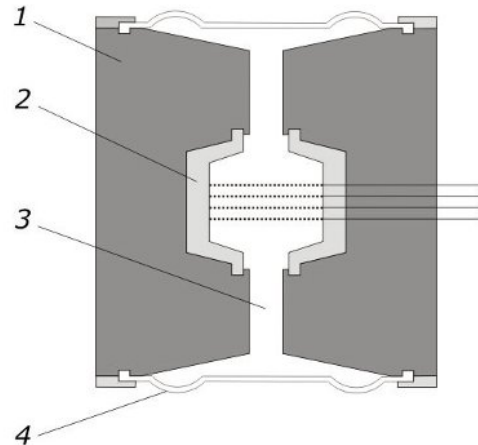


▲ Рис. 1. Молекулярно-электронный преобразователь: 1 — диэлектрическая трубка (корпус преобразователя); 2, 4 — установочные элементы; 3 — электролит, 5, 6 — электроды.

В рабочем режиме к каждой паре электродов преобразователя прикладывается постоянная разность потенциалов, обеспечивающая в отсутствие внешнего сигнала протекание фонового тока между анодом и катодом каждой электродной пары, обусловленного обратимыми окислительно-восстановительными реакциями на аноде и катоде.

В случае возникновения движения рабочей жидкости в трубке преобразователя возникает конвективная составляющая тока между электродами преобразователя и соответствующий отклик в виде электрического сигнала, снимаемого с электродов. Коэффициент преобразования внешнего механического сигнала в электрический ток при этом имеет исключительно высокую величину, гарантируя высочайшую чувствительность датчика. Для того чтобы преобразователь мог использоваться в качестве линейного датчика движения, концы трубки 1 закры-

ваются эластичными мембранами (Рис. 2). Тогда, при возникновении внешнего ускорения электролит в канале преобразователя приходит в движение, поднося или относя носители заряда к электродам, что отражается в изменении тока во внешней цепи.



▲ Рис. 2. Датчик линейных движений.

Полевые работы.

Полевые испытания экспериментальных образцов молекулярно-электронных однокомпонентных сейсмодатчиков MTSS-1021 в составе многоканального информационно-измерительного сейсморазведочного комплекса (ИИСК-МЭСД) производства ОАО "СКБ СП" (система "SCOUT" с беспроводной передачей данных) были проведены в условиях реального сейсморазведочного эксперимента на тестовых территориях (с. Спасское Оренбургской обл. и хутор Графский Ставропольского края) с хорошо известными геологическими условиями.

Целью сейсморазведочного эксперимента являлась отработка 2D-профилей методом ОГТ. Общий объем выполненных работ составил порядка 300 пог.км.

Для проведения полевых испытаний было изготовлено 440 экспериментальных образцов молекулярно-электронных однокомпонентных сейсмодатчиков MTSS-1021 со встроенными сменными аккумуляторными батареями и универсальными кабельными выводами, сов-

местимыми с полевыми блоками сейсм-осистемы «SCOUT».



▲ Рис. 3. Экспериментальный образец геофона.

Сейсмодатчики расставлялись на профилях длиной порядка 18 погонных километров с шагом ПП - 25 м и шагом ПВ - 50 м. В качестве источников возбуждения в основном использовались виброисточники СВ27/150, NOMAD65. Один профиль был отработан с использованием взрывного источника, что гарантировало широкий спектр возбуждаемого сигнала. Важно то, что данный профиль был отработан с одновременной регистрацией датчиками ИГЕО и стандартной группой из 12 геофонов GX-20 по двум параллельным линиям.

Предварительный анализ полученных данных показал, что при обработке сейсмической информации в частотном диапазоне от 10 Гц временной разрез, полученный с помощью экспериментальных образцов молекулярно-электронных однокомпонентных сейсмодатчиков MT-SS-1021, хорошо коррелирует с временным разрезом, полу-

▼ Рис. 4. Проведение полевых работ с экспериментальными датчиками.

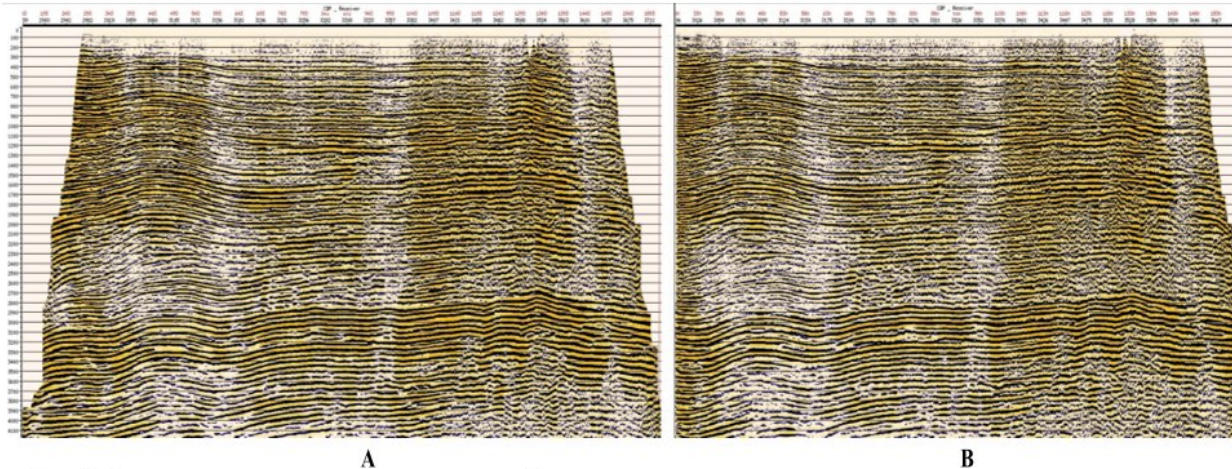


▲ Рис. 5. Проверка идентичности экспериментальных датчиков.

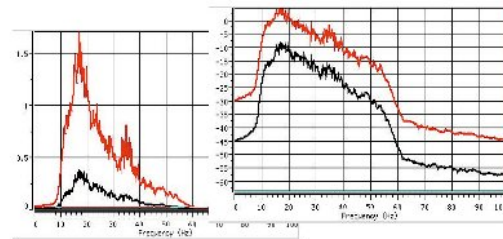
ченным с помощью сейсмодатчиков GX-20. А это значит что наши датчики справились с этой задачей и, несмотря на определенные трудности, связанные с необходимостью дополнительной подготовки персонала партии к обращению с данными приборами, результат оценен заказчиком положительно.

К сожалению, основной задачей проведенных работ было получение новой геологической информации о регионе исследования. Задача, конечно, важная и нужная. И на нее выделялись бюджетные средства. Однако, все преимущества сейсмодатчиков нового поколения продемонстрировать не удалось, поскольку информация, зарегистрированная с помощью этих сейсмодатчиков в низкочастотном (до 10 Гц) и высокочастотном (свыше 100 Гц) диапазонах, при обработке сейсмоданных не была использована.

Одной из перспективных областей использования уникальных возможностей молекулярно-электронных датчиков является низкочастотное сейсмическое зондирование (НСЗ) — метод сейсморазведки, основанный на анализе спектральных характеристик низкочастотной (1—10 Гц) энергии естественного сейсмического фона над залежами углеводородов. Теория метода базируется на механике флюидонасыщенной трещиновато-пористой



▲ Рис. 6. Фрагменты разрезов после нескольких итераций автоматической коррекции статических и кинематических поправок и суммирования с сохранением амплитуд с подобранными для визуализации коэффициентами усиления и их амплитудно-частотные спектры.
 А) R – обычные сейсмоприемники (черная линия на амплитудно-частотных спектрах);
 В) О – одиночные сейсмоприемники (красная линия на амплитудно-частотных спектрах).



среды. Контрастные геологические границы, такие как осадочный чехол, фундамент, тектонические нарушения, а также неоднородности в виде соляных пластов, залежей углеводородов вызывают перераспределение сейсмической энергии, выражающееся в формировании явных максимумов в спектре. Образованные присутствием нефтегазонасыщенного коллектора максимумы имеют свои отличительные признаки. Анализ распределения максимумов сейсмической энергии по площади исследований позволяет дифференцировать зоны по нефтегазоперспективности. Предпосылками для разработки метода НСЗ стал эффект аномального низкочастотного естественного сейсмического фона над нефтегазовой залежью. Как нам представляется, использование датчиков ИГЕО при выполнении низкочастотного сейсмического зондирования залежи углеводородов позволило бы существенно повысить эффективность данного вида сейсмических исследований.

Сегодня можно констатировать, что компанией ИГЕО создано сейсморазве-

дочное оборудование нового класса чувствительности и сейчас планируется масштабирование производства с целью его оптимизации и снижения себестоимости продукции. При этом, предлагаемая технология проще реализованной в стандартных приборах, основанных на электродинамическом принципе. А это означает, что при массовом производстве цена датчика будет, как минимум, сопоставима с существующими сегодня одиночными датчиками типа GS-One.

Проведенные работы, прежде всего, подтвердили заявленную производителями чувствительность датчиков в диапазоне 1-300 Гц. Вместе с тем, в ходе работ был выявлен ряд конструктивных недостатков новых сейсмодатчиков. Прежде всего, это касается организации электропитания датчиков. В частности, встроенные в датчики аккумуляторы сложны в обслуживании, нуждаются в регулярной замене и должны иметь удобную индикацию заряда. Хрупкий корпус требует бережного обращения. В то же время у прибора есть и очевидные плюсы. К ним, помимо основного - увеличенного диапа-

зона чувствительности, можно отнести тот факт, что данные приборы более терпимы к точности угла установки в грунт по сравнению со стандартными приборами

На наш взгляд полученные результаты свидетельствуют о больших перспективах внедрения данной технологии. В настоящее время подготовлена новая модель датчика, с теми же параметрами по чувствительности, но уже с устраненными отмеченными выше недостатками. Нам удалось существенно доработать конструкцию прибора, разработать более удобный для работы в полевых условиях и при массовом производстве корпус. Мы преодолели сложности, связанные с неудобством частой смены аккумуляторов, теперь они работают несколько недель, что вполне достаточно для проведения работ, и, при необходимости, удобно заменяются прямо в поле.

В планах компании ИГЕО выпустить до конца года пилотную партию датчиков на 1000 каналов для демонстрации достоинств нового оборудования вместе с заказчиками, имеющими заинтересованность в высокочувствительных сейсмодатчиках, провести полевые работы.

Снижение себестоимости и хорошие выходные характеристики нашей продукции обеспечивают ей хорошие позиции в конкурентной борьбе как с геофоном GS-

One компании Geospace, с одной стороны, так и с акселерометрами VectorSeis компании INOVA и GAC UniQ компании WesternGeco, с другой стороны. Об этом свидетельствуют данные, приведенные в таблице 1.

Учитывая то, что в нашей стране нет ни одного отечественного производителя высокочувствительных геофонов, компания ООО «ИГЕО» готова реализовать программу импортозамещения в части массового производства геофонов нового поколения.

Для этого нужна заинтересованность российских нефтяных и сервисных геофизических компаний в данного вида продукции. Компания ООО «ИГЕО» готова вместе ними отработать на полигонах, где эффект использования высокочувствительного оборудования будет ожидаем, всю технологическую цепочку с подбором параметров источника, определением графа обработки материалов, формированием базовых интерпретационных моделей.

Мы приглашаем к сотрудничеству экспертов геофизиков, нефтяные и сервисные компании, отраслевые научные институты, ведь в отрасли есть актуальные задачи, которые нужно решить с помощью датчиков ИГЕО. Мы предлагаем провести совместные работы в рамках

▼ Табл. 1.

Геофон (производитель)	Частотный диапазон (собственная частота – верхний предел)	Коэффициент преобразования	Допустим ый угол наклона	Масса
-	Гц	В/(м/с)	-	г
Геофон ИГЕО	1 - 300	250	Любой	400
GS-ONE (Geospace)	10 - 240	85,8	10°	130
GS-20DX (Geospace)	10 - 160	27,5	20°	86
SM-24 (ION)	10 - 240	28,8	10°	74
PS-10R (Sunful)	10 - NA	85,8	NA	141

▼ Табл. 1. (продолжение)

Акселерометр (производитель)	Частотный диапазон	Собственный шум	Энергопотребление	Масса
-	Гц	нг/√Гц	Вт	г
Акселерометр ИГЕО	0,1 - 120	40 (10 Гц)	0,20	250
GAC UniQ (1C) (WesternGeco)	NA	42 (3-200Гц)	0,10	390
VectorSeis (3C) (INOVA)	NA	44 (3-375Гц)	NA	625

ваших текущих проектов, решить стоящие перед Вами задачи с помощью отечественного оборудования и убедиться в его преимуществах на деле.

Литература

1. «Чуткости не занимать» - статья в научный журнал «Поиск», №46, 18 ноября 2016 г.
2. «Молекулярно-электронные преобразователи в современных измерительных приборах» - статья в журнал «Успехи современной радиоэлектроники», №9, 2014 г.
3. «Технологические основы преобразователей параметров движения на принципах переноса массы и заряда в электрохимических микросистемах» - журнал «Электрохимия», 2012, том 48, №7, стр. 1–10.
4. Huang H., Agafonov V., Yu H. (2013). Molecular electric transducers as motion sensors: A review. *Sensors (Switzerland)*, 13(4), 4581–4597.
5. Agafonov V., Neeshpapa A., Shabalina A. (2015). Electrochemical Seismometers of Linear and Angular Motion. In M. Beer, I. A. Kouglioumtzoglou, E. Patelli, & I. S.-K. Au (Eds.), *Encyclopedia of Earthquake Engineering SE - 403-1* (pp. 1–19). Springer Berlin Heidelberg.
6. Dmitry Zaitsev, Vadim Agafonov, Egor Egorov, Alexander Antonov, Anna Shabalina. Molecular Electronic Angular Motion Transducer Broad Band Self-Noise. *Sensors* 2015, 15, 29378–29392.
7. V. M. Agafonov, I. V. Egorov, A. S. Shabalina. Operating Principles and Technical Characteristics of a Small Sized Molecular–Electronic Seismic Sensor with Negative Feedback. *Seismic Instruments*, 2014, Vol. 50, No. 1, pp. 1-8.

Подробнее об авторах



Курков
Сергей Викторович

генеральный директор
ООО "ИГЕО"



Агафонов
Вадим Михайлович

директор по науке
ООО "ИГЕО", к.ф.-м.н.



Егоров
Иван Владимирович

конструктор
ООО "ИГЕО"



Слонов
Денис Николаевич