

Элементы контроля качества морских сейсморазведочных работ с буксируемым оборудованием

■ Титов А.Б., Горбачев С.В., ООО «РН-Шельф-Арктика», г.Москва

Введение

Технология выполнения морских сейсморазведочных работ заключается в буксировании сейсмических кос, пневмоисточников и вспомогательного оборудования за исследовательским судном. Сложная система возбуждения сейсмических импульсов, регистрации данных, навигационного обеспечения, большое количество различного оборудования требуют тщательного контроля в процессе выполнения полевых работ.

Помимо технических факторов, на качество данных большое влияние оказывают природные факторы: погодные условия, волнение моря, поверхностные течения, низкие температуры и т.д. Особенно актуальна данная проблема на арктическом шельфе, с учетом ограниченного полевого сезона и сложной ледовой обстановки. Зачастую сейсморазведочные работы выполняются в осенние месяцы, когда погодные условия значительно ухудшаются, регистрация происходит при достаточно существенном волнении моря (более 2,5-3х метров), что повышает уровень шумов и усложняет контроль параметров буксировки заборного оборудования. На

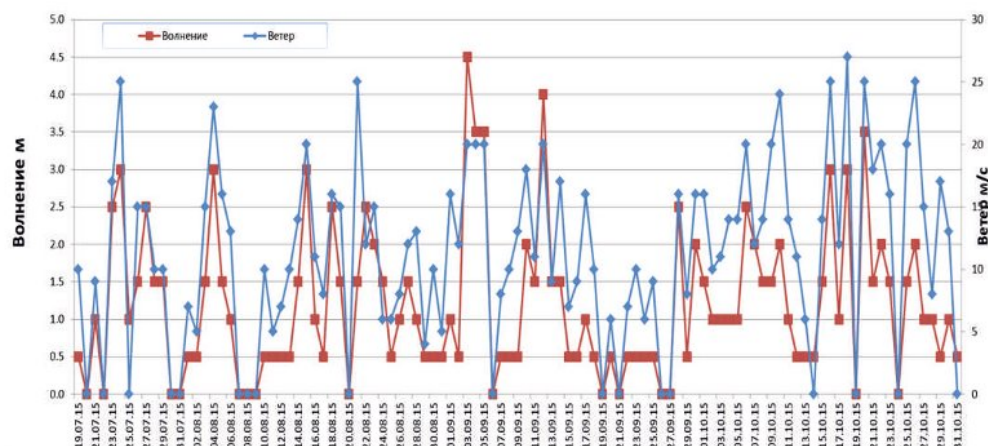
рисунке 1 представлены статистические данные по волнению моря и скорости ветра на примере акватории Печорского моря с июля по ноябрь 2015 года. Хорошо видно, что осенние месяцы характеризуются большим количеством штормовых дней, и этот фактор необходимо учитывать при планировании работ.

В совокупности технические, технологические и природно-климатические факторы влияют на качество регистрируемых данных, поэтому необходимо в процессе выполнения морских сейсморазведочных работ осуществлять постоянный контроль за работой оборудования, соблюдением спецификации регистрации данных.

Основными элементами контроля при проведении морских сейсморазведочных работ с буксируемым оборудованием являются:

- подготовка и тестирование оборудования до начала полевых работ;
- контроль и тестирование оборудования в процессе выполнения полевых работ;
- работа группы контроля качества, обеспечивающая круглосуточный анализ регистрируемых данных.

► Рис. 1. Погодные условия во время проведения морских сейсморазведочных работ в Печорском море (2015 г.).



Элементы контроля группового пневмоисточника.

До начала проведения полевых работ и в процессе отстрела выполняется проверка всех элементов системы возбуждения сейсмических сигналов, которая состоит из: компрессоров, соединительных магистралей, пневмоисточников (ПИ), датчиков глубины, гидрофонов ближней зоны и т.д. Важной особенностью работы группового ПИ является стабильность излучаемого сигнала, поэтому в процессе выполнения работ большое внимание уделяется корректной работе ПИ.

Основными параметрами контроля ПИ являются:

- работа всех элементов группового ПИ;
- рабочее давление;
- глубина буксировки ПИ;
- синхронизация элементов ПИ;
- самосрабатывание;
- сепарация между линиями ПИ.

Контроль периода импульса (bubble-test). Стабильность работы ПИ зависит от корректной работы каждой отдельной пушки, поэтому до начала выполнения работ каждая пушка подлежит обязательной проверке на соответствие теоретического и практического периодов пульсации. По результатам тестов выполняется сравнение результатов измерений на соответствие установленным критериям качества (рис. 2). Допускается отклонение показателей не более 5%.

Контроль рабочего давления ПИ осуществляется при помощи датчиков давления, установленных в пределах каждой подгруппы излучателей. Мощность и число компрессоров выбирается исходя из шага ПВ с учетом уменьшения давления воздуха на ПИ из-за охлаждения в морской воде. В практике сейсмо-



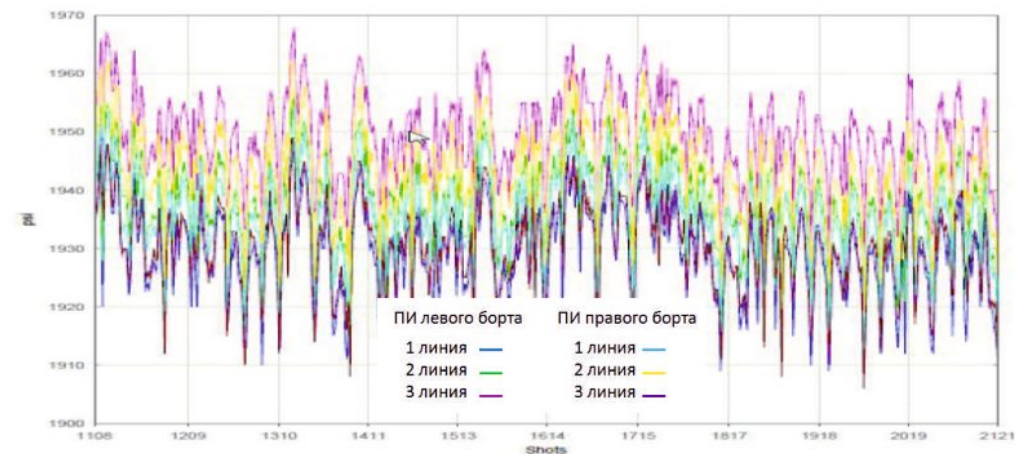
▲ Рис. 2. Пример схемы группового пневмоисточника (А) и диаграмма сравнения теоретического и фактического периодов пульсации (Б) каждой отдельной пневмопушки (синий – теоретический, зеленый – измеренный, красный – разница).

разведочных работ рабочее давление составляет 2000 psi, допускается изменение давления не более чем на 5% (рис. 3).

Контроль глубины буксировки ПИ. Изменение глубины буксировки ПИ влияет на характеристики излучаемого сигнала, поэтому в процессе выполнения полевых работ осуществляется постоянный контроль данного параметра. На каждом конце линии источника устанавливаются датчики контроля глубины, которые регистрируют данные о глубине ПИ через равные промежутки времени. Допускается изменение в ± 0.5 м от проектной глубины.

Контроль синхронизации ПИ осуществляется при помощи программы кон-

► Рис. 3. Пример графика контроля давления по каждой пневмо-линии в процессе отработки профиля.



троля работы ПИ. Превышение допуска синхронизации $\pm 0,1$ мс сказывается на форме и характеристике излучаемого сигнала, поэтому необходим постоянный контроль данного параметра.

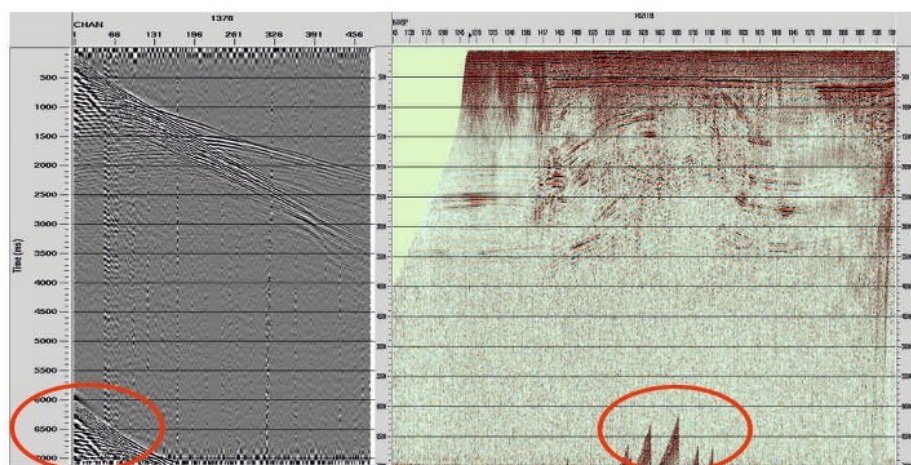
Контроль самосрабатываний ПИ (autofire). Во время выполнения полевых работ могут возникать ошибки и сбои в работе контроллера работы ПИ, что приводит к самосрабатыванию источника, т.е. происходит наложение записи данных от предыдущего и последующего возбуждений. Такие данные являются некондиционными и подлежат отбраковке. Контроль самосрабатываний ПИ осуществляется при помощи гидрофонов ближней зоны, расположенных на источнике. Время записи должно соответствовать времени записи сейсмических сигналов. В случае обнаружений самосрабатываний ПИ выполняются работы по

устранения неисправностей. На рисунке 4 представлен пример незапланированного срабатывания ПИ на времени 6 с.

Контроль сепарации между линиями ПИ осуществляется при помощи акустических пингеров, расположенных на каждой линии ПИ, по показаниям фактического расстояния между линиями. Пингеры являются частью акустической сети всего забортного оборудования.

Изменение размеров ПИ влияет на форму и характеристики сейсмического сигнала, поэтому в процессе выполнения работ необходимо соблюдение критериев изменения данного показателя в пределах установленных требований ± 1 м. В отдельных случаях, когда выполнение данного условия невозможно (постоянные сильные течения), допускается увеличение установленного параметра.

► Рис. 4. Пример сейсмограммы и временного разреза с самосрабатыванием ПИ.



Элементы контроля регистрирующего сейсмического оборудования

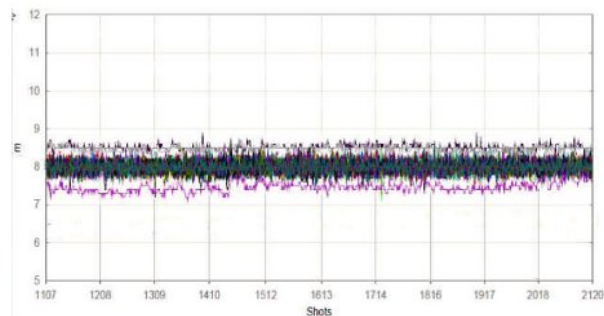
До начала проведения полевых работ и в процессе регистрации данных выполняется проверка всех элементов сейсмической косы: секции косы (гидрофоны), датчики глубины, регуляторы глубины (птицы), концевой буй и т.д. Основными параметрами контроля сейсмических кос являются:

- чувствительность гидрофонов;
- глубина погружения;
- уровень шума;
- угол сноса косы (отклонения от заданной линии).

Контроль чувствительности гидрофонов. Перед началом исследований проводятся проверки чувствительности всех регистрирующих приборов на соответствие требованиям спецификации производителя. В случае превышения допуска в ненормально работающих каналах, выполняется замена секции косы.

Контроль глубины погружения косы. Перед началом выполнения полевых работ выполняется балансировка сейсмической косы для обеспечения нулевой плавучести с рабочей скоростью.

Контроль глубины и заглубления косы осуществляется при помощи специальных приборов – «птиц», установленных через 300 м по всей длине косы. После успешного проведения балансировки косы углы крыльев «птиц» не должны превышать ± 5 градусов. Допускается отклонение глубины буксировки косы в пределах ± 1.0 м от установленной рабочей глубины, при этом максимальная разница между соседними датчиками глубины погружения должна составлять не более 0.5 м. На рисунке 5 представлен пример графика контроля глуби-



▲ Рис. 5. График контроля глубины буксировки сейсмических кос в процессе отработки профиля.

ны сейсмической косы при рабочей глубине 8 м.

Контроль уровня шума. Для минимизации резких рывков кабеля на передней и задней частях сеймоприемной косы устанавливаются амортизирующие секции, позволяющие значительно снизить уровень шума, вызываемого судном и концевым бумом. В процессе выполнения работ выбирается оптимальная скорость сейсмического судна, в среднем, 4-5 узлов (скорость относительно дна моря). Допустимый уровень шума при нормальных условиях (слабом волнении моря), стабильной глубине погружения и скорости буксирования не должен превышать 5 микробар. Ввиду ограничений, накладываемых самой технологией работы, допускаются повышенные шумы в головной части косы, вызванные кильватерной струей судна, и на последних каналах из-за буксирования концевого буя, а также на каналах в местах крепления регуляторов глубины и других внешних датчиков. На рисунке 6 представлен пример записи уровня шумов до и после завершения профиля.

Контроль сноса косы. При отработке сейсмических профилей исследовательское судно держит по курсу в пределах так называемого коридора. Сезонные и постоянные поверхностные течения сносят судно и косу с запланированного курса. Существует допуск по сносу косы

► Рис. 6. График значений уровня шумов до (синий) и после (красный) работы на профиле.



относительно азимута отстрела, составляющий до 10-15 градусов для работ 2D. В случае превышения данного предела выполняется переотработка профиля, что увеличивает общее время работ.

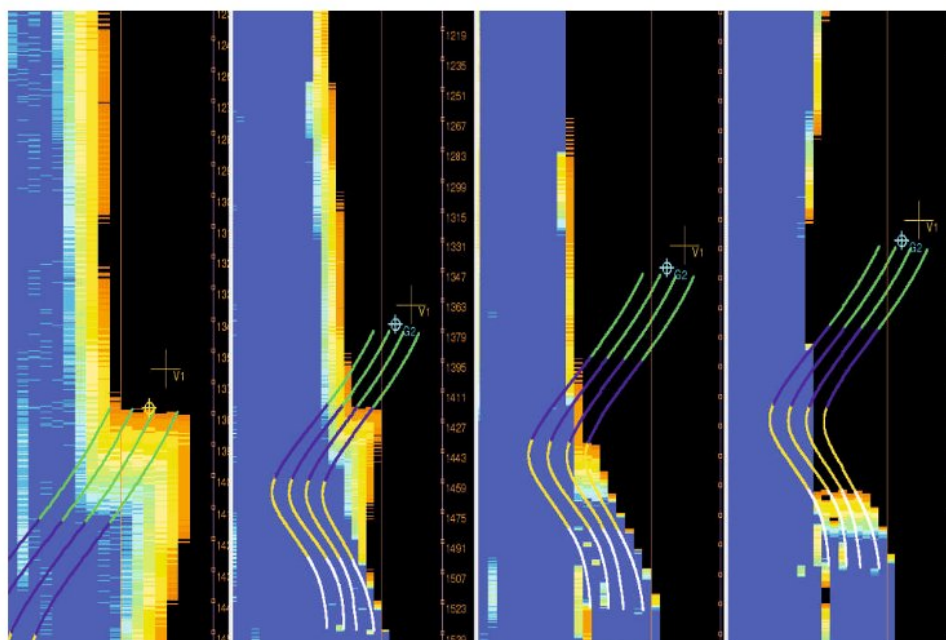
В случае 3D сейсморазведочных работ снос сейсмических кос влияет на качество покрытия кратности, при сильных сносах кос возникают дырки в покрытии кратности и необходимо выполнять повторную отработку в том же направлении, в каком были первоначальные линии (отстрел infill). В среднем, при выполнении морских сейсморазведочных работ 3D отработка инфиллов может составлять 10-15% от общего времени работ. На рисунке 7 представлен пример сноса сейсмических кос постоянным

поверхностным течением.

Работа группы QC

Оценку качества регистрируемых сейсмических данных осуществляет группа контроля качества в круглосуточном режиме. В задачи группы входит контроль работы регистрирующего и навигационного комплекса, пневматического источника и дополнительного оборудования. Контроль осуществляется как в режиме реального времени (вывод данных на мониторы в процессе отстрела), так и после завершения работ на профиле (анализ данных, оценка шумов, построение атрибутов, построение сейсмических разрезов и т.д.). В случае нарушений спецификации данных

► Рис. 7. Пример сноса сейсмических кос при 3D работах.



анализируется причина нарушений (технический фактор или природно-климатические условия), принимается решение об устранении нарушений и повторной отработке профиля.

Выводы

Получение морских сейсморазведочных данных с буксируемым оборудованием – сложный технологический процесс, требующий постоянного контроля, так как от качества зарегистрированных данных зависит последующее решение геологических задач. Контроль необходимо выполнять как на подготовительном этапе, так и в процессе выполнения полевых работ с привлечением квалифицированных специалистов.

В неблагоприятных условиях (сложная ледовая обстановка, постоянные течения и т.д.) возможны отклонения от спецификации регистрации сейсмических данных с приложением соответствующего обоснования.

Помимо специалистов по контролю качества данных, необходимо привле-

кать независимых супервайзеров, которые осуществляют дополнительный контроль, и должны при необходимости предлагать решения по улучшению качества данных.

Литература

- 1) Бондарев В.И. Сейсморазведка. Екатеринбург, 2007.
- 2) Телегин А.Н. Морская сейсморазведка. Москва, 2004.
- 3) Levin, F. K. The effects of streamer feathering on stacking //Geophysics. 1983.Vol.48. Pp.1165-1171.

Подробнее об авторах



Титов
Антон Борисович

главный специалист
Управления реализации
ГРП ООО «РН-Шельф-
Арктика».



Горбачев
Сергей Викторович

к.т.н., начальник
Управления реализации
ГРП ООО «РН-Шельф-
Арктика».