

О позиционировании пунктов приема и возбуждения при проведении транзитных сейсморазведочных работ с донным оборудованием

■ Горбачев С.В., Маев П.А., Егоров А.А., ООО «ЛАРГЕО НефтеГазСервис», г. Москва

Основным поводом для написания данной заметки явилась статья «К вопросу позиционирования пунктов наблюдения в сейсморазведке 3D, выполняемой в транзитных зонах» в 4 номере журнала «Приборы и системы разведочной геофизики» за 2012 год авторов Захарова Н.В., Шумского Б.В. и Рудакова А.В. из Компании ГНЦ ЮГУП «Южморгеология». В своей работе они подняли очень важную тему точности позиционирования пунктов наблюдения (приема и возбуждения) при проведении сейсморазведочных работ 3D в транзитных зонах. Результаты и выводы, предложенные в статье [1], являются дискуссионными. В данной заметке мы хотели бы отразить свое видение и понимание рассматриваемого вопроса, а также высказать критические замечания к методологии позиционирования, предлагаемой ГНП ЮГУП «Южморгеология».

В начале, рассмотрим вопрос технологии работ в транзитных зонах с использованием донного оборудования. Стандартная технология состоит из нескольких этапов:

Этап 1 – Тестирование и проверка работоспособности оборудования, навигации и т.д.

Этап 2 – Раскладка донного оборудования по намеченным профилям (линиям). Эта процедура осуществляется путем спуска оборудования на дно с движущегося судна. Точность раскладки оборудования зависит от разных факторов: глубины моря, массы оборудования (кроме собственной массы часто используют дополнительные грузы для утяжеления оборудования), силы и направления течения, метеоусловий (ветра, волнения моря), опытности судоводителей и т.д. Для проверки установленных требований по позиционированию пунктов приема используются акустические модули, располагаемые через определённые интервалы на линиях регистрирующего оборудования (косах), или же вмонтированные в донные станции/косы.

Этап 3 – Акустическое позиционирование (или, в простонародье, «пингирование»), которое заключается в следую-

щем: судно, на котором установлена специальная система, проходит по каждому профилю приема и определяет координаты акустических модулей, лежащих на дне. Далее полученные координаты интерполируются, так как акустические модули чаще всего стоят не на каждом канале, а с определенным шагом, обычно больше шага ПП (на данном проекте шаг ПП - 50 м, расстояние между акустическими модулями - 300 м), после чего определяются отклонения положения пунктов приема от заданных в проекте. Если количество каналов с отклонениями превышает допустимое Техническими условиями, линия пунктов приема перекладывается, или же готовится обоснование, по каким причинам эта линия не может быть разложена в пределах допусков (например, очень сильные течения и т.п.). Это обоснование протоколируется специалистами Подрядчика и представителями Заказчика, после чего происходит переход к следующему этапу.

Этап 4 – Отработка («Отстрел») разложенной расстановки. На этом этапе судно с групповым пневмоисточником (ПИ) производит возбуждение сейсмического сигнала в заданных точках путем прохода по заранее запроектированной линии с

определенной скоростью. Так как ПИ буксируется за судном на определенном расстоянии (не менее 10-15 м, а в некоторых случаях и до 50 м), в каждый момент времени у судна есть точные координаты своего местоположения, получаемые по GPS. Далее с помощью поправок рассчитываются теоретические координаты ПИ, без учета возможного смещения под влиянием течений. Для получения точных координат ПИ используют специальную GPS антенну, закрепленную на буре, установленном в начале или центре группы ПИ.

Этап 5 – Сбор приемной расстановки после завершения «отстрела» активной расстановки: суда-раскладчики (они же сборщики) проходят по ЛПП и собирают оборудование. При этом, если расположить на их борту акустические антенны, можно определить координаты пунктов приема после «отстрела». То есть зафиксировать факт смещения оборудования, если такое происходило в процессе его нахождения на дне.

Далее все этапы повторяются заново в той же последовательности.

Теперь перейдем непосредственно к требованиям точности позиционирования положений пунктов приема и возбуждения на примере проекта, рассмотренного в статье [1]. Как написано в вышеупомянутой статье, Техническим заданием были установлены следующие критерии допусков по смещениям:

- для ПП – 6 м вдоль ЛПП и 12 м – поперек, при шаге ПП – 50 м;
- для ПВ – 1 м вдоль ЛПП и 10 м – поперек, при шаге ПВ – 25 м.

При этом, с учетом сложности выполнения работ на акваториях, установлены «смягчающие» требования по смещению ПП и ПВ: допустимы отклонения вдвое превышающие заданные, в объеме не более 2% от общего числа пунктов приема или возбуждения и не более 5 пунктов подряд по профилю.

В [1] отмечается, что при составлении этих допусков руководствовались требованиями наземной сейсморазведки, однако в наземной сейсморазведке существуют более строгие требования по смещениям ПП и ПВ, а также по точности определения их координат.

Требования по точности определения координат ПП и ПВ: не менее 0.2 м. То есть в наземной сейсморазведке координаты ПП и ПВ должны быть известны с очень большой точностью. Возможны смещения от проектного положения, но только в пределах половины размера бина, при этом координаты пунктов возбуждения и приёма точно фиксируются. В случае больших смещений (например, наличия эксклюзивных зон) каждый случай рассматривается отдельно, и смещение делается с учётом геометрии расстановки на расстояние кратное интервалу ПП или ПВ. Таким образом, пределом допустимого смещения является половина размера бина (преимущественно 12.5 метров), при четком фиксировании координат, а дальнейшие смещения должны анализироваться на предмет падения кратности и отдельно оговариваться.

Получается, что для наземных работ есть четкие требования по определению координат и смещению, а для работ на акватории есть только некий коридор, в который надо попасть при спуске оборудования и отстреле. Этот коридор выбирается для того, чтобы при смещении ПП и ПВ не происходило сильного снижения номинальной кратности и не возникали большие «дырки» в подборках равных удалений.

При работе на спокойной воде с низкой скоростью течений приведённые требования легко выполнить при наличии отработанной технологии и опытного персонала. Чаще всего течения имеют определенные характеристики (периодичность, скорость, направление и т.д.),

которые необходимо учитывать в процессе раскладки и отработки путем введения поправок в проектный курс движения. При этом необходимо принимать во внимание человеческий фактор – в вопросе ввода поправок и судовождения. Смещение ПВ от намеченных допусков можно зафиксировать в процессе отстрела и оперативно корректировать, так как в центре группы ПИ установлена GPS-антенна. С раскладкой ПП все намного сложнее и неоднозначнее, так как в процессе спуска оборудования фиксируется точка сброса, а положение на дне может существенно отличаться от точки сброса, даже с учетом рассчитанных заранее поправок за течения (снос). Для проверки положения оборудования на дне как раз и используют акустическое позиционирование (пингирование).

При отсутствии пингирования невозможно определить, правильно ли разложено оборудование на дне. Допустим, что в процессе работ не используется система акустического позиционирования. Например, правильно рассчитанная поправка «за течение» была введена с обратным знаком. Поправку в 15 м ввели ошибочно, и вместо смещения на север получилось двойное смещение на юг 30 м плюс простые погрешности установки, заложенные в допуски (возьмем от них половину – 6 м). Итого имеем смещение ЛПП на 36 м в поперечном направлении. Хотелось бы заметить, что об этом не известно в сейсмопартии, так как позиционирование не проводится, и истинные координаты ПП остаются неизвестными вплоть до поступления данных на полевой контроль качества. Происходит отстрел, занимающий до нескольких десятков часов. Следует учитывать, что отстрел может быть приостановлен из-за неблагоприятных погодных условий (шторма, например), а потом продолжен. В процессе отстрела лежащее на дне оборудование может сместиться, как

например, на рисунке 1 (проектное положение ПП и пропингированное после шторма), но о смещении не известно, так как не было пингирования ни после раскладки, ни после шторма. Итого с момента раскладки с ошибками (вне допусков) и шторма прошло несколько суток, оборудование уже начали поднимать, а данные только поступили на полевой вычислительный центр для проверки геометрии и других процедур контроля качества. Происходит ввод данных в специализированные программные комплексы, загружается геометрия, полученная после обработки навигационных данных, и при наложении теоретического годографа на первые вступления обнаруживается несоответствие.

Далее, конечно, идет запрос навигаторам о правильности их данных. Таким образом, одна ошибка найдена, смещение 15 м введено не туда, то есть вместо допустимого смещения в 12 м, имеются смещение в 36 м. При этом много времени потеряно на неправильную раскладку, отстрел и ввод данных. Кроме того, начата перекладка оборудования на следующий участок.

После обнаружения ошибок нужно принять решение - продолжать дальше работы на новом участке, приняв эти данные, или же переложить оборудование на прежнее место и заново провести отстрел. Фактически это решение ложится на представителей Заказчика-супервайзеров. Если следовать Техническим требованиям проекта, то необходимо переложить и “перестрелять” расстановку.

При этом всегда есть риск того, что новое положение ПП будет также вне допусков, так как без акустического позиционирования невозможен оперативный контроль координат. Возможно и ухудшение погоды, что не даст нормально разложить оборудование.

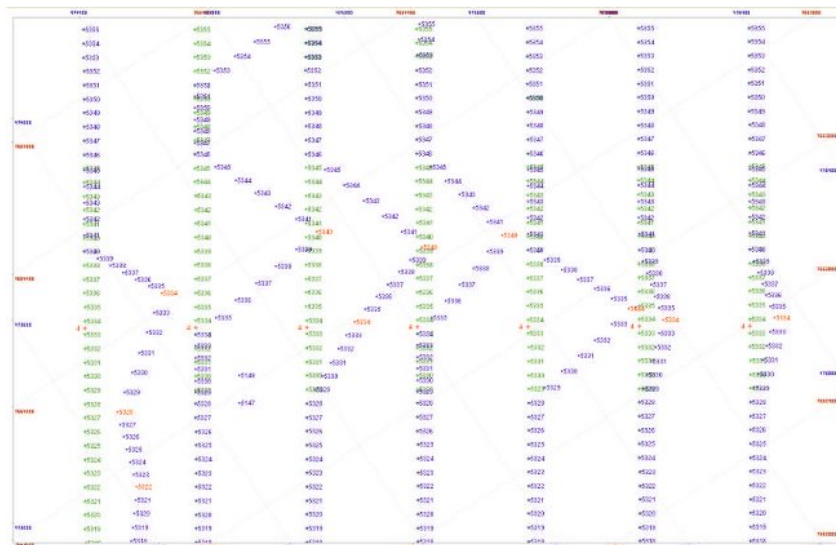


Рис. 1. Проектное положение пунктов приема (зеленый цвет) и фактическое (синий), определенное по результатам акустического позиционирования

Поэтому отказ от использования акустического позиционирования не совсем обоснован.

При выявлении смещений вне допуска геофизикам полевой партии необходимо выполнять анализ, к чему привело такое смещение ПП и ПВ, с точки зрения распределения номинальной кратности, кратности по удалениям и азимутам, а результаты предоставлять представителям Заказчика-супервайзерам и вместе с ними принимать решение о продолжении работ или же “перестреле”.

Конечно, можно пользоваться методикой определения и корректировки координат по первым вступлениям, но, как будет показано далее, это – сложная и не всегда однозначно решаемая задача, требующая значительных временных затрат и сильно зависящая от качества данных и опыта геофизика-обработчика.

Рассмотрим подробнее возможности определения положения оборудования по акустическому позиционированию и первым вступлениям.

Точность по акустическому позиционированию:

Заявленная точность системы акустического позиционирования, например, Sonardyne – 1-2 метра в плане, при рабочих частотах – 35-55 кГц.

Точность по первым вступлениям:

Методика определения положения ПП и ПВ по первым вступлениям известна очень давно, этот подход реализован практически во всех обрабатываемых комплексах. Он применяется в тех случаях, когда есть сомнения в точности координат положения ПП и ПВ при «офисной» обработке, так как нельзя уже проверить координаты, выехав в поле. Фактически это инструмент, уменьшающий возможные ошибки и недочеты в геодезии и навигации при полевых работах.

Расчёт точности определения координат по первым вступлениям – весьма неоднозначный вопрос. В литературе называются разные цифры по точности этого метода, наиболее конкретно описано в работе Wilson[3]. По данным этой статьи, точность позиционирования может сильно варьироваться. Для съёмки с донным оборудованием называется цифра в 1.5-2 метра, для наземной съёмки – от 2 до 5 метров, для наземной съёмки с ярко выраженным рельефом – до 10 метров. Несмотря на довольно высокую точность, приведённую в данном источнике, автор замечает, что результат зависит от используемого программного пакета и качества данных, а также упоминает, что не всё программное обеспечение работает достаточно

стабильно в определении координат ПП или ПВ. К тому же, в каждой из 15-ти исследованных в работе съёмок от 1 до 5% ПП и ПВ в итоге имели погрешность позиционирования более 10 метров.

В целом, технология определения координат по первым вступлениям состоит в следующем:

1. Загрузка данных;
2. Предобработка данных (подбираются процедуры позволяющие максимально выделить необходимые сигналы для пикирования);
3. Подбор параметров автоматической пикировки;
4. Пикировка данных;
5. Отбраковка ошибок пиков;
6. Расчет координат;
7. Проверка адекватности результата.

Заметим, что при определении координат по первым вступлениям есть множество факторов, определяющих точность метода:

А) качество данных (соотношение сигнал/шум, прослеживаемость первых вступлений и все факторы, которые на это влияют);

Б) человеческий фактор (опытность геофизика-обработчика);

В) алгоритм расчёта.

При расчёте координат необходимо знать и учитывать особенности алгоритма используем в программном обеспечении (например, стоит ли включать в расчёт пикировки преломленной волны). Для исключения преломлённой волны и для сокращения времени пикировки (как будет показано далее, имеет место сильно переопределённая система уравнений) используется ограничение по удалениям.

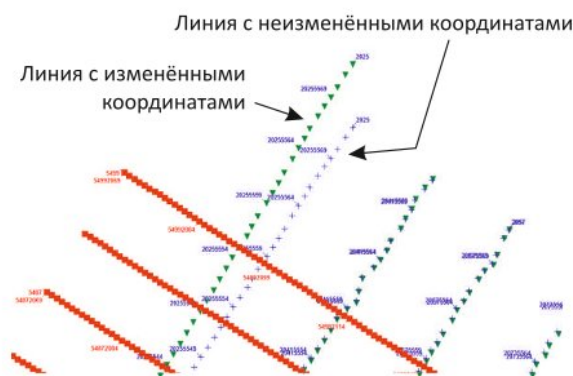
Для определения корректности работы различных программных продуктов нами был выполнен большой ряд экспериментов с 2D и 3D данными, как реальными, так и модельными (синтетическими).

Рассмотрим один из экспериментов:

В программный пакет были загружены полевые данные с того же участка, что и в работе [1]. В координаты приемников одной из линий были внесены линейные изменения в соответствии с таблицей 1. Таким образом, в данной линии отклонение ПП от проектного положения (помимо того, которое, возможно, уже было в данных) плавно изменяется от 0 до 200 метров (рис.2).

▼ Табл. 1. Изменение координат ПП в ходе эксперимента.

Порядковый номер ПП в линии	Величина изменения координат, м.
1	0
2	2
3	4
4	6
...	...



▲ Рис. 2. Расположение ПП и ПВ в эксперименте с изменением координат приемной линии.

Выполним проверку и коррекцию положений ПП по первым вступлениям, чтобы рассчитать истинные координаты ПП. Существует несколько вариантов работы с данными:

- 1) Полностью автоматическая пикировка.
- 2) Ручная пикировка.
- 3) Комбинированная - автоматическая с ручной коррекцией.

Ручная пикировка первых вступлений в таких объёмах занимает колоссальное количество времени (например, участок, приведённый на рисунке 3, имеет около 120 000 трасс с учётом ограничения по удалениям в 600 метров, что при пикировке трассы в секунду занимает порядка 33-34 часов), поэтому в поле для контроля положения ПП есть возможность только автоматической пикировки. На тестовых полевых данных эксперимента была произведена автоматическая пикировка первых вступлений в ограниченном диапазоне удалений. Это было сделано для иллюстрации следующей проблемы: для того, чтобы отбросить вылетевшие пикировки, можно задать полосовое окно в осях Удаление/Время, внутри которого пикировка считается верной. Однако ширина этой полосы будет варьироваться в зависимости от предполагаемого максимального отклонения приемника от проектного положения. В случае большого отклонения в положении ПП даже правильно отпикированные данные будут отфильтрованы, как брак. Поэтому при работе с данными нужно понимание максимально возможных смещений. На рисунке 3 представлен пример выбора окна для разных отклонений ПП. Видно, что уже на этом этапе можно определить отклонение факти-

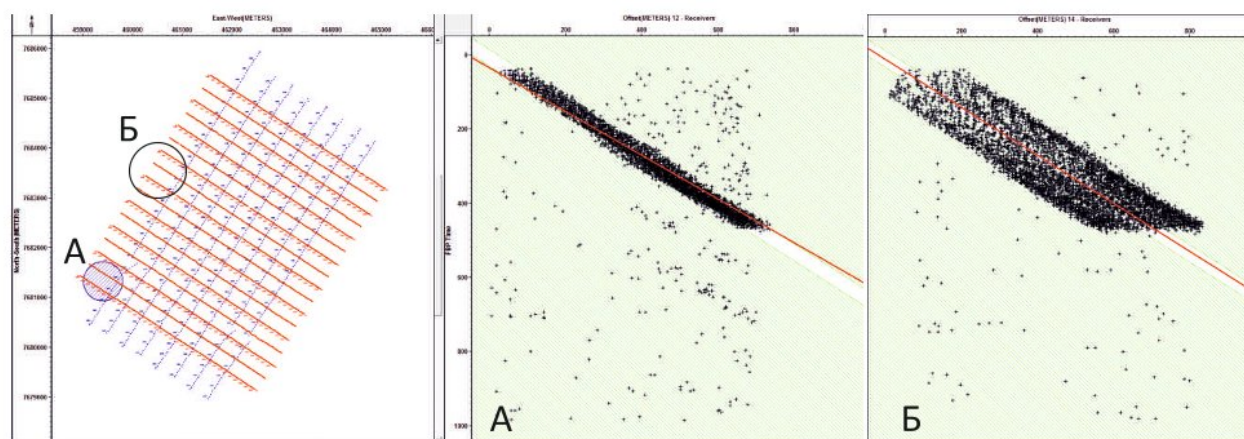
ческого положения ПП от проектного и понять, попадают ли отклонения в допуски ТЗ.

Далее был произведён расчёт геометрии по первым вступлениям с помощью комбинированного подхода к пикировке и вдумчивого подбора окон для отбраковки ошибочных точек. Так как данные – полевые, то невозможно корректно оценить отклонения результатов расчёта координат от истинного положения. Но, даже по этим результатам, можно сделать важный вывод:

Метод работает, но для корректного его применения необходимо максимальное количество азимутов прихода волн к приемнику. Соответственно, если приемники находятся вне ЛПВ, как показано на рисунке 4, то невозможно правильно рассчитать их положение.

Во время работ на акваториях очень часто используют системы наблюдения с выносом ПП за ЛПВ. Стоит заметить, что смещения ПП на концах линии приёма обычно более существенны, чем в центре расстановки, а алгоритм выдает при определении их координат наибольшие ошибки.

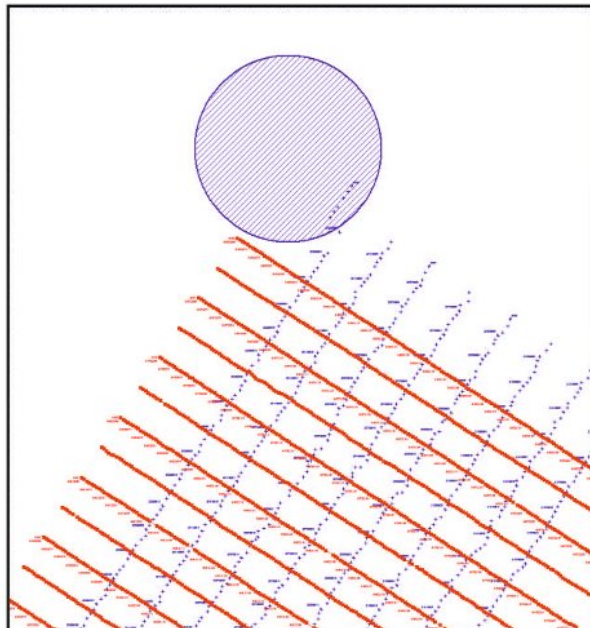
Захаров Н. В. пишет про работу алгоритма расчета геометрии по первым вступлениям, используя термин «кратность прослеживания», то есть кратность



▲ Рис. 3. Пример выбора различных окон при отбраковке пиков:

А - Смещение приемников <50м,

Б - Смещение приемников <120м,



▲ Рис. 4. Пример некорректной работы метода определения координат по первым вступлениям (край расстановки).

ОСТ (в данном случае номинальная кратность 80), и говорит, что количество уравнений для расчета равно кратности прослеживания, но это не совсем так. Для оценки положения ПП и ПВ используются статистические данные по ПП и ПВ, то есть количество ПВ, использующих этот ПП и по аналогии количество ПП, использующих этот ПВ. Для представленной системы наблюдения один ПВ регистрируется на 960 ПП, а один ПП участвует в 5400 ПВ. Количество уравнений для расчета намного больше, чем описано в статье, и само понимание подхода не совсем правильное. Система уравнений сильно переопределена. Если провести ограничение по удалениям до 600 метров, то получится от 128 до 156 ПВ на каждый ПП и от 45 до 60 ПП на каждый ПВ.

Хотелось бы также заметить, что представленные разрезы ОСТ и выполненный по ним расчет не могут рассматриваться как пример, так как на процесс суммирования влияет много факторов: точность кинематических поправок,

мьютинг, статические поправки и т.д. При оценке параметров на верхних горизонтах (500 мс), где эти факторы наиболее сильно проявляются, в результате может возникнуть ошибка, никак не связанная с геометрией. Поэтому рассматривать такой анализ некорректно.

Еще с одним моментом рассматриваемой статьи сложно согласиться – это рисунок 10 (в этой заметке он приведен как рисунок 5). Данная иллюстрация призвана показать, что интерполяция между координатами транспондеров (шаг между датчиками 300 м) на косе (при акустическом позиционировании) не может учесть подобные “петли”, а методика по первым вступлениям – может.

Разберем эту ситуацию подробнее: расстояние между датчиками донной сейсмической косы равняется 55 метрам при шаге ПП в 50 метров (дополнительные 5 метров нужны в качестве “запаса” при спуске оборудования на дно). На рисунке 5Б между двумя соседними линиями возбуждения (второй и третьей) вместо 6 пунктов приёма находится 9 ПП. Это, в свою очередь, ведёт к появлению неправдоподобно больших интервалов ПП (70-80 метров) вокруг “петли” (зелёные окружности на рисунке), поэтому такая геометрия является скорее ошибкой метода расчёта по первым вступлениям, чем его преимуществом. В используемом алгоритме нельзя задать максимально возможный шаг между каналами. В соответствии с показанным результатом координаты ПП по первым вступлениям имеют серьёзную погрешность.

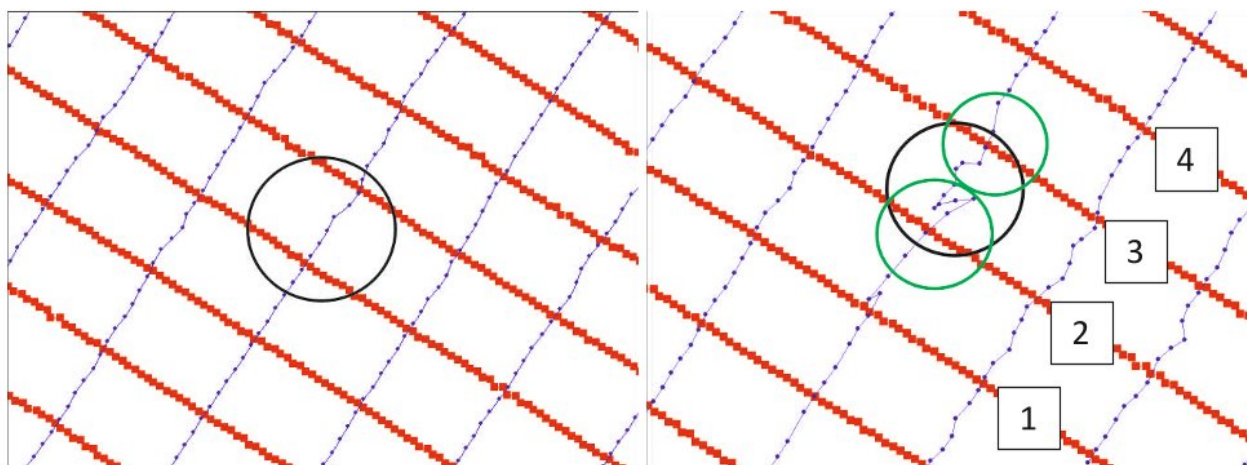
Несмотря на это, отмеченная в статье проблема интерполяции данных акустического позиционирования действительно имеет место, и при необходимости она может быть решена с помощью:

1. Установки акустических приборов с более частым шагом.

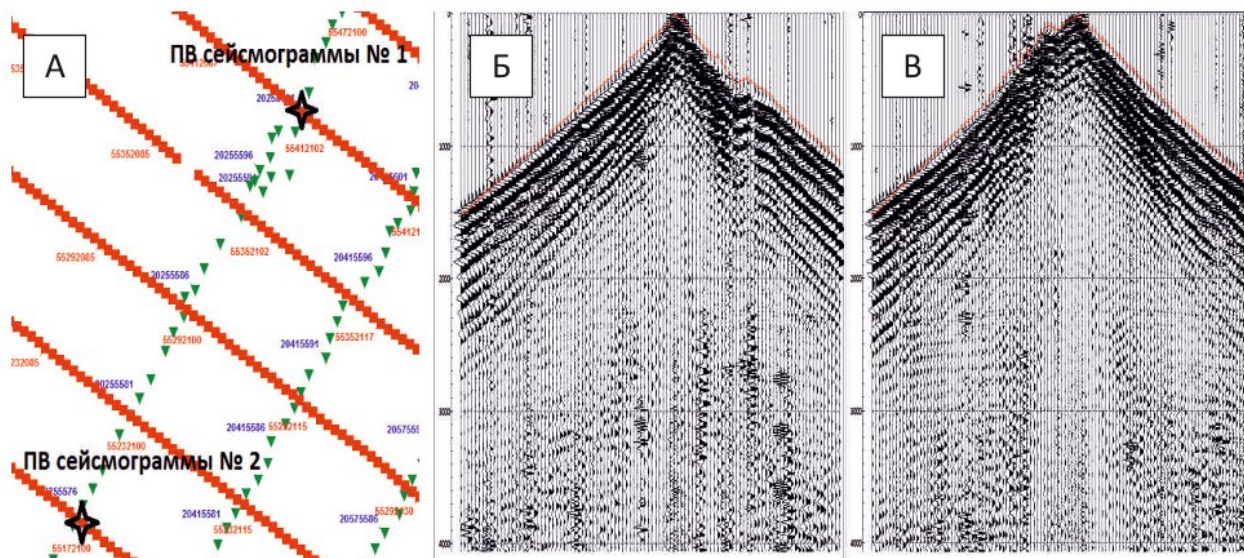
2. Комплексирования результатов пингирования, позиционирования по первым вступлениям и детального анализа данных, о чем говорится в работе[3].

1. Отказ от технологии акустического позиционирования может существенно затруднить контроль качества раскладки оборудования и, как следствие, снизить качество данных.

2. Точность определения координат по первым вступлениям сильно зависит



▲ Рис. 5. Положение ПП (синие линии) и ПВ (красные линии) определенные по результатам акустического пингирования (А) и по первым вступлениям (Б).



▲ Рис. 6. Фрагмент активной расстановки (А) и сейсмограммы с разных ПВ (А и Б).

Заметим, что если пингирование и было проведено, то оно должно было выявить подобную проблему, а представленный результат (на рис. 5А) говорит от там, что этого не было.

Хотелось бы подвести итог всему вышесказанному:

от качества данных, применяемого программного пакета, а также от опыта геофизиков.

3. При позиционировании по первым вступлениям ошибки в определении координат ПВ ведут к ошибкам определения координат ПП.

4. Сильные неоднородности ВЧР также влияют на точность определения координат по первым вступлениям, поэтому при работе с данными нужно понимать этот аспект и иметь представления о возможной модели ВЧР.

5. Процесс автоматической пикировки первых вступлений достаточно тяжело настраивается, к нему необходимо правильно подготавливать данные.

6. Процесс ручной пикировки первых вступлений (результат которого обычно приводит к удовлетворительным результатам) занимает довольно большой промежуток времени, соизмеримый со временем пингирования.

7. В работе алгоритмов позиционирования по первым вступлениям не учитывается фактическая длина между ПП (кабеля), поэтому расчет необходимо вдумчиво корректировать, что также усложняет технологию работ.

8. Позиционирование по первым вступлениям на стадии «офисной» обработки помогает эффективно бороться с существенными ошибками в геометрии, но в полевых условиях полагаться на него как на панацею от ошибок как минимум некорректно.

9. Позиционирование по первым вступлениям корректнее работает с 3D данными, при работе с 2D данными могут возникать существенные ошибки в поперечном направлении.

10. Применение пингирования давно стало мировым стандартом при проведении донных сейсмических работ. Мировой опыт показывает, что наилучший результат в позиционировании ПП достигается при комплексировании акустического позиционирования и проверки координат по первым вступлениям (Zhang Hongjun и др, 2012).

11. Можно с уверенностью заявить, что точность метода определения координат по первым вступлениям, даже при использовании тщательно отбракованных пикировок, не выше точности акустического позиционирования, а в большинстве случаев – ниже.

12. В процессе полевых работ при возникновении каких-либо спорных моментов или при получении данных вне технических спецификаций необходимо корректно обосновать возможность приёмки таких данных и показать, что изменение спецификаций несущественно повлияет на качество данных.

Литература

1. Захаров Н.В., Шумский Б.В., Рудаков А.В. К вопросу позиционирования пунктов наблюдения в сейсморазведке 3D, выполняемой в транзитных зонах // «Приборы и системы разведочной геофизики» №4, 2012, стр.68-75.
2. Шнеерсон М.Б., Жуков А.П., Белоусов А.В. Технология и методика пространственной сейсморазведки. - М., 2009.
3. Brad Wilson "Solving Problems in Land and Transition Zone Positioning", Exploration Consultants Limited, Inc., SEG Annual Meeting, 1998.
4. Zhang Hongjun*, Chen Haolin, Ye Yuanquan, Liujun, Liu Renwu, Liu Yuanying, Ni Chengzhou and Li Xiaodong, BGP, CNPC "A method for improving the accuracy of OBC receiver location in complex shallow waters", SEG Las Vegas 2012 Annual Meeting
5. Урупов А.К. Основы трехмерной сейсморазведки. - М., 2004.
6. Cordson A., Galbraith M., Peirce J. Planning Land 3-D Seismic Surveys. - Society of Exploration Geophysicists, 2000.
7. Vermeer, G.J.O., 3-D seismic survey design, 2002.
8. Инструкция к VISTA - GEDCO.
Инструкция к RENEGADE - Geophysics Seismic Studio.