

Статья посвящена вопросам оценки влияния геометрии систем наблюдений на амплитудные вариации, наблюдаемые на уровне отражающих границ на сейсмических кубах. Анализируются наиболее распространённые системы с точки зрения продуцируемых влияний. Рассматривается применение карт эффективной кратности наблюдений для предварительной оценки указанного влияния. Проводится сопоставительный анализ систем наблюдений на основе сравнения характеристик элементарной ячейки и минимальной подборки данных каждой системы.

Оценка локальных параметров площадных сейсмических систем наблюдений

Белоусов А.В., ЗАО НПЦ «ГеоСейсКонтроль», г. Москва

При динамической интерпретации сейсмических данных требуется исключить максимально возможное количество внешних, вызванных условиями возбуждения и приёма, сейсмических колебаний, факторов для прогноза коэффициентов отражения и, возможно, фильтрационно-емкостных свойств горных пород. В данной статье рассматривается влияние геометрии систем наблюдений на амплитудные характеристики отражающих горизонтов на временных разрезах и кубах, а также даются рекомендации по выбору оптимизированных площадных систем наблюдений.

Влияние геометрии систем наблюдений может проявляться на сейсмических кубах в виде периодического изменения амплитуд, согласующегося с размерами и конфигурацией приёмной расстановки. Если ограничиться рассмотрением довольно простой горизонтально-слоистой геологической модели, только для которой, собственно говоря, и можно достаточно точно проследить указанное влияние на горизонтальных срезах (слайсах) кубов, то к основным факторам, обуславливающим амплитудные различия, следует отнести: (1) неравномерность распределения трасс по удалениям в пределах бина; (2) наличие в соседних бинах различных минимальных полезных удалений, что во многом обуславливается видом применяемой системы наблюдений; (3) наличие в соседних бинах различных максимальных полезных удалений для уровня целевого горизонта – то есть удалений, на которых существует сигнальная составляющая после мьютинга за растяжение импульса при вводе кинематических поправок. Кроме того, на пригодность трасс близких удалений к обработке влияет тип применяемого источника (так, взрывное возбуждение колебаний вблизи поверхности может вызывать сильные поверхностные волны) и характеристики волн-помех в районе исследований. Перечисленные факторы являются основными причинами амплитудных изменений, влияющими на такие базовые параметры окончательных изображений (кубов), как: отношение сигнал/помеха, степень подавления кратных волн, степень подавления линейного шума, корректность применения процедуры DMO и т. п. [1, 2, 4]. При усложнении модели становится невозможно разделить влияние на амплитудный уровень таких факторов, как: геометрия системы наблюдений; поверхностно-согласованные процедуры обработки; точность определения скоростного закона; процедуры ввода дифференциальных кинематических поправок (DMO) и миграции; изменения коэффициента отражения с увеличением угла падения волны, характера залегания отражающих горизонтов.

Практически для всех видов площадных съёмок, за исключением разве что радиально-кольцевых систем наблюдений, имеющих, в основном, теоретическое значение, удаления в пределах бинов распределены неравномерно, то

есть для общих средних точек (ОСТ) не образуется регулярная сетка ($x_{ОСТ}$, $y_{ОСТ}$, I , θ), где ($x_{ОСТ}$, $y_{ОСТ}$) — координаты точки ОСТ; I — удаление и θ — азимут наблюдений. Это приводит к периодическим, с периодом в одну элементарную ячейку (участок площади, ограниченный соседними линиями возбуждения и приёма), изменениям амплитуд ввиду как разного числа трасс в соседних бинах, так и неравномерного распределения трасс по удалениям также в пределах соседних бинов [3]. Влияние систем наблюдений сильнее проявляется для верхних горизонтов ввиду снижения кратности на их уровне и более существенных различий в удалениях.

Смоделируем наиболее распространённые виды съёмок для оценки продуцируемого ими влияния на амплитуды. При моделировании ограничимся полнократными (с соотношением продольного и поперечного размеров блока наблюдений, близким к единице) системами следующих видов: (а) ортогональная; (б) наклонная с линиями возбуждения, проложенными под углом 26,6°; (в) кирпичная с интервалом повторения 3 (участки линий возбуждения расположены через 100 м); (г) зеркальный зигзаг. Полнократные системы выбраны ввиду того, что реализуют достаточно равномерное пространственное квантование и тем самым обеспечивают наиболее uniformные офсетно-азимутальные характеристики [3, 6, 9] по сравнению с узко- и среднеазимутальными системами. В качестве значений основных параметров съёмок примем величины, часто применяемые в производстве полевых сейсморазведочных работ: шаг линий приёма (ЛП) 300 м; шаг линий возбуждения (ЛВ) 300 м; шаг пунктов приёма (ПП) и возбуждения (ПВ) в линии 50 м (для наклонной и зигзагообразной систем это шаг проекций ПВ на направление, ортогональное ЛП). Система наблюдений центральная, симметричная, блок наблюдений состоит из 20 ЛП по 108 ПП и отрабатывается на 6 ПВ, расположенные между 10й и 11й ЛП. Таким образом, полная (проектная) кратность составит 90, причём кратность в направлении ЛП – 9, а в направлении ЛВ – 10. Продольный размер блока наблюдений равен 5 350 м, поперечный – 5 700 м, их соотношение $-0,94 \approx 1$.

Заметим, что для моделируемых систем при размерах модели 12 км x 12 км (примерная оценка средних размеров лицензионного участка нефтегазовых компаний) площадь зоны полнократных наблюдений составляет 89,3 км², то есть всего 62%. Следовательно, при стандартном рассмотрении характеристик, включающем всю съёмку, 38% бинов будут отмечены влиянием краевых эффектов. Для исключения краевых эффектов будем анализировать характеристики систем наблюдений не для всей площади, а только для элементарной ячейки. Такое ограничение правомочно в силу периодичности свойств систем [5].



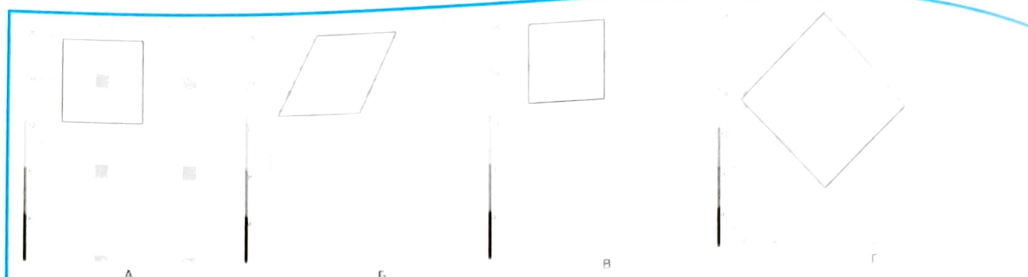


Рис. 1. Фрагменты моделируемых систем наблюдений. Выделены области, соответствующие элементарным ячейкам: А — ортогональная; Б — наклонная; В — кирпич; Г — зеркальный зигзаг. Фоновое изображение — карты эффективной кратности в диапазоне удалений 500 — 1 500 м.

Основные параметры моделируемых систем приведены в таблице 1. Как следует из таблицы, плотность ПП и ПВ практически одинакова для всех видов систем (пренебрежимо малое различие обусловлено исключительно неоднозначностью размещения ПВ на границах площади для неортогональных съемок). Кроме того, в элементарные ячейки входят ровно 144 бина, или 12 960 трасс (в системе «зигзаг» за счёт зеркальности размещения ЛВ размер элементарной ячейки удваивается), что свидетельствует о возможности их прямого сравнения. Виды элементарных ячеек приведены на рис. 1 [9]. Из рисунка видно, что неортогональные системы (Б) — (Г) могут быть получены из ортогональной (А) путём смещения ПВ на отрезке, формирующем блок наблюдений, на различные расстояния. Максимальное поперечное отклонение от ортогональных ЛВ составит 100 м для системы «кирпич» и 150 м для систем с наклонным размещением ЛВ и зигзага. Очевидно, что спектры удалений могут различаться лишь на сопоставимые величины, что иллюстрируется рис. 2. Наполненность различных диапазонов удалений для рассматриваемых съёмок совершенно одинакова — с точностью до десятых долей процента. На рис. 3 приведены спектры удалений по отдельным бинам. Конечно, этот рисунок не может претендовать на полноту, ведь число различных вариантов спектра равно числу бинов в элементарной ячейке (144) и изменение вида спектра от бина к бину происходит достаточно закономерно [7, 8], так что видимые пустоты в наличии удалений

постепенно заполняются (при формировании интегральных характеристик). Тем не менее, данный рисунок создаёт представление о примерном характере распределения трасс по удалениям в пределах бина. Отметим два принципиальных момента:

1. Спектры удалений всех рассматриваемых систем как в побиновом (рис. 3), так и в интегральном (рис. 2) вариантах обеднены ближними удалениями в диапазоне 0 — 1 000 м. На него приходится 9,75% от всего набора трасс. При этом на диапазон 0 — 500 м приходится только 2,44%;

2. В спектрах удалений содержатся повторяющиеся значения, что обусловлено регистрацией трасс по разным азимутам. Так, из показанных на рис. 3 90 трасс полнократного бина для ортогональной системы уникальны по удалениям 53 трассы, для наклонной — 83 трассы, для системы кирпич — 84 трассы, для системы зигзаг — 69 трасс.

Обычно в процедурах обработки, в частности, при скоростном анализе рассматривается полная совокупность трасс бина, без учета азимута ПВ — ПП. В этом случае в расчёт принимается число уникальных удалений и чем оно выше, тем стабильнее работает процедура и точнее определяются параметры. Следует, однако, отметить, что при азимутально-зависимом скоростном анализе эффект дублирования трасс по удалениям в бине пропадает.

Таким образом, спектры удалений всех моделируемых систем существенно неравномерны.

Таблица 1. Основные параметры моделируемых систем

	Ортогональная	Наклонная	Кирпич	Зигзаг
Площадь съёмки (по периметру ЛВ)	144,0	144,4	144,0	143,70
Число ЛП на площади	41	41	41	41
Число ЛВ на площади	41	60	121	40
Общее число ПП	9 840	9 840	9 840	9 840
Общее число ПВ	9 840	9 620	9 684	9 600
Плотность ПП	68,3	67,9	68,3	68,5
Плотность ПВ	68,3	66,4	67,3	66,8
Вид и размеры элементарной ячейки	квадрат 300 x 300	параллелограмм (26,6°) 300 x 300	Квадрат 300 x 300	квадрат (45°) 600 x 600
Число бинов в элементарной ячейке	144	144	144	288 (144 + 144)
Число трасс в элементарной ячейке	12 960	12 960	12 960	25 920 (12 960 x 2)
Число ПП в минимальной подборке	108	165	112	222
Число ПВ в минимальной подборке	120	120	120	120 + 120

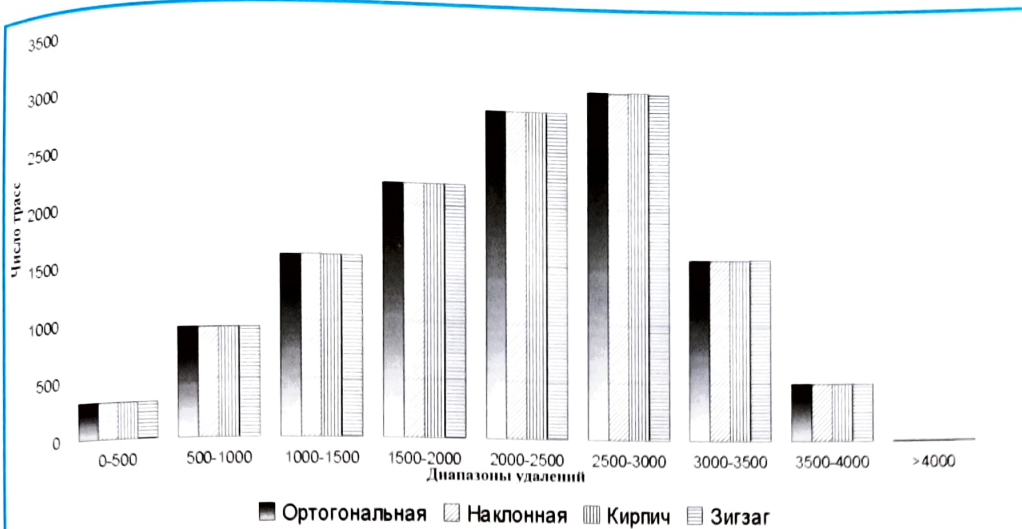


Рис. 2. Гистограммы распределения трасс по удалениям в пределах элементарной ячейки.

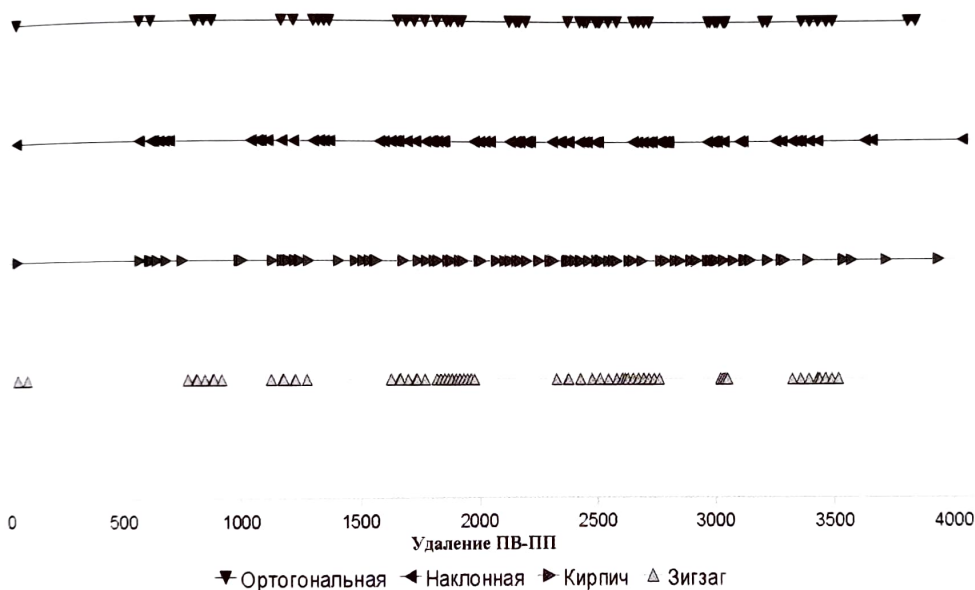


Рис. 3. Графики распределения трасс по удалениям в пределах бина.

при этом интегральные характеристики их совпадают и фактор неравномерности распределения трасс играет одинаковую роль везде. Неортогональные системы отличаются наличием большего числа трасс с неповторяющимися удалениями, что позволяет говорить об их возможном применении для улучшения помехоподавления [3]. Это, однако, не отражается на амплитудных вариациях, создаваемых этими системами. Ближние удаления в спектрах практически отсутствуют. В связи с этим для всех систем: (а) затруднен скоростной анализ на малых базах; (б) невозможно изучение верхних отражающих горизонтов, залегающих на глубинах, меньших диагонали элементарной ячейки или сопоставимых с ней; (в) создаются некоторые неярко выраженные (ввиду малого числа трасс) амплитудные искажения на временных разрезах (кубах).

В работе [5] показано, что характер влияния

систем наблюдений на амплитуды можно оценить по картам эффективной кратности – картам кратности, построенным по ограниченному диапазону удалений (IMIN – IMAX), где IMIN определяется минимальным удалением трасс в бине, а IMAX – наибольшим удалением, оставшимся после мьютинга за растяжение импульса. Примеры карт эффективных кратностей в диапазоне удалений 500 – 1 500 м (что приблизительно соответствует освещению горизонтов, залегающих на этих глубинах) приведены на рис. 1. Из сравнения данных карт видно, что ортогональная система обеспечивает достаточно равномерное покрытие площади с кратностью 17 – 20, кроме центральных областей элементарной ячейки, где кратность падает до 12. Системы «наклонная» и «кирпич» обладают практически идентичными картами кратности. В данных системах преобладает кратность 17 – 20. В центре ячейки кратность падает до 14. Для зеркального зигзага

«ВСТРЕЧИ НА ВОЛГЕ»: ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

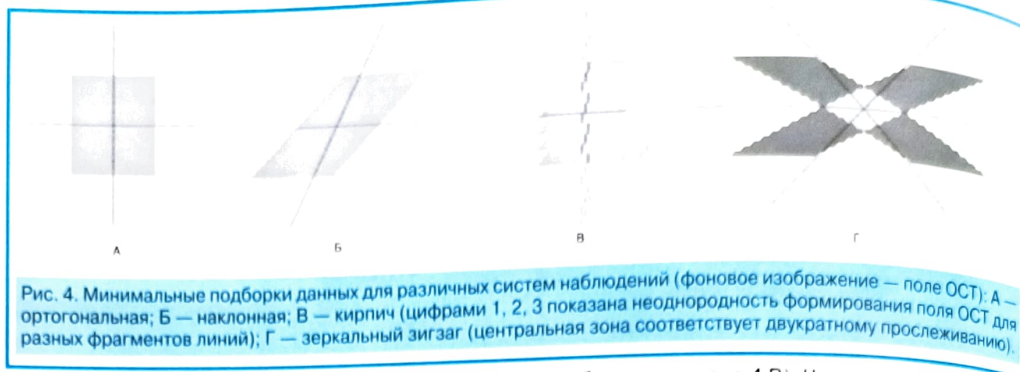


Рис. 4. Минимальные подборки данных для различных систем наблюдений (фоновое изображение — поле ОСТ): А — ортогональная; Б — наклонная; В — кирпич (цифрами 1, 2, 3 показана неоднородность формирования поля ОСТ для разных фрагментов линий); Г — зеркальный зигзаг (центральная зона соответствует двукратному прослеживанию)

основное покрытие реализуется с несколько меньшей кратностью 16 – 18. Но в центре ячейки кратность, в отличие от остальных систем, возрастает до 20 – 24.

Таким образом, с точки зрения геометрии систем наблюдений все полнократные системы обладают схожими характеристиками и, следовательно, предпочтение при проектировании необходимо отдавать системе с наиболее простой, технологически и методически, схемой отработки, то есть в большинстве случаев ортогональной. В реальных условиях неизбежно наличие на площади работ эксклюзивных зон, где невозможно возбуждение колебаний, то есть проектируется размещение ЛВ в обход препятствий, что приводит к ухудшению офсетно-азимутальных характеристик систем наблюдений, и это ухудшение особенно ярко проявляется в случае неортогональных систем. В наклонной системе и в системе зигзаг расстояния между ПВ являются нецелыми числами (ввиду необходимости соблюдения выдержанности размеров бина). Так, при шаге ПВ в ортогональной системе, равном 50 м., соответствующие шаги для модельных наклонной и зигзагообразной систем равны 55,9 и 70,71 м. Это, наряду с более сложным пространственным распределением ПВ, может приводить к осложнениям в процедурах контроля качества, в частности, затруднять проверку правильности присвоения геометрии заголовкам трасс.

Вермеер [8] предложил рассматривать любую реализацию площадных наблюдений как трёхмерную выборку из пятимерного волнового поля $W(x_{iP}, y_{iP}, x_{iPP}, y_{iPP}, t)$, где x_i, y_i ($i = P, PP$) – координаты ПВ и ПП, t – время регистрации. Поле W полагается непрерывным в том смысле, что малые изменения координат ПВ и ПП ведут к малым изменениям функции поля. Тогда в зависимости от вида применяемой системы для каждой из них можно подобрать так называемую «минимальную подборку», формирующую непрерывное однократное поле средних точек на заданном участке. Вся система наблюдений образуется совокупностью перекрывающихся минимальных подборок. При этом число перекрытий определяет кратность ОСТ. Изображения соответствующих подборок для моделируемых систем приведены на рис. 4. Для процедур обработки, предполагающих непрерывность поля, необходимо минимизировать пространственную неоднородность, другими словами, обеспечить в наборе подборок, создающем однократное покрытие всей площади, наименьшее число краёв [6]. Очевидно, что данное требование соблюдается при непрерывном характере ЛВ. При использовании прерывных ЛВ, как, например, в геометриях «кирпич» или «зигзаг» (кроме геометрии «зеркальный зигзаг»), квантование по ЛВ происходит лишь частично (то есть формируется неполная минимальная

подборка – см. рис. 4 В). Число краёв подборок в такой системе намного больше, чем в системах с непрерывно проложенными ЛВ.

Итак, с позиций теории симметричного квантования волнового поля, системы с непрерывно проложенными ЛВ имеют неоспоримое преимущество.

Основные выводы сводятся к следующему.

Рассмотренные полнократные системы наблюдений обладают сходными офсетно-азимутальными характеристиками. Выбор той или иной системы должен диктоваться соображениями обеспечения помехоподавления и технологичности в проектировании и отработке.

Распределение удалений в бинах всех полнократных систем существенно неоднородно. Ближние удаления практически отсутствуют во всех системах. Основные различия в офсетных характеристиках систем проявляются для диапазонов средних и дальних удалений.

Ортогональные системы представляются наиболее простыми с точки зрения пространственного расположения линий. Не уступая в большинстве характеристик другим геометриям, они обладают наименьшей чувствительностью к изменениям параметров ввиду, например, наличия на площади эксклюзивных зон.

Системы с непрерывно проложенными линиями оптимальны для проведения корректной обработки материалов.

Литература

1. Canning A., Gardner G.H.F. Reducing 3D acquisition footprint for 3D DMO and 3D prestack migration // *Geophysics*, vol.63, no. 4 – 1998 – pp. 1177 – 1183.
2. Cordsen A., Galbraith M., Peirce J. Planning land 3-D seismic surveys. (*Geophysical Developments Series No.9*) – Tulsa: SEG, 2000.
3. Galbraith M. A new methodology for 3D survey design // *The Leading Edge*, 10/2004 – pp. 1017 – 1023.
4. Gesbert S. From acquisition footprints to true amplitude // *Geophysics*, vol.67, no. 3 – 2002 – pp. 830 – 839.
5. Hill S., Shultz M., Brewer J. Acquisition footprint and fold-of-stack plots // *The Leading Edge*, 06/1999 – pp. 686 – 695.
6. Vermeer Gijs O. 3D seismic survey design. (*Geophysical References Series No.12*) – Tulsa: SEG, 2002.
7. Vermeer Gijs O. 3D seismic survey design optimization // *The Leading Edge*, 10/2003 – pp. 934 – 941.
8. Vermeer Gijs O. 3D symmetric sampling // *Geophysics*, vol.63, no. 5 – 1998 – pp. 1629 – 1647.
9. Левянт В.Б., Рябошапка С.М., Белоусов А.В. О полно- и широкоазимутальных системах 3Д, применяемых для анализа анизотропии сейсмических характеристик рецинотатых коллекторов // *Технологии сейсморазведки*, № 3/2009.