

Лучше сеймики 3D – только сеймика 3D/3C, хорошо спланированная

■ Захаров Н.В., ГНЦ ФГУП «Южморгеология», г. Геленджик

Под таким названием, но только для съемки 3D, в 1998 г в сборнике Геофизика №6 опубликована статья известного российского геофизика Козлова Е.А. С тех пор прошло немало времени и пространственная сейсморазведка прочно вошла в практику производственных исследований.

На самом деле, сегодня очевидно, что влияние площадной сейсморазведки 3D оказало большое положительное воздействие на технологии разведки и разработки углеводородных месторождений. Так, например, благодаря ее использованию возрос процент успешного бурения и существенно увеличилась извлекаемость углеводородного сырья.

Однако, все более жесткие требования к достоверности получаемых геофизиками результатов возникают у геологической службы. Данное обстоятельство объясняет тот факт, что в последнее время внимание геофизиков все чаще сосредотачивается на других методах, позволяющих описывать пласты более детально.

Одним из таких методов, является многоволновая сейсморазведка (МВС), использующая отраженные обменные волны (PS). Основное назначение МВС в нефтяной геофизике — это повышение эффективности решения структурных задач и изучения вещественного состава отложений: литологии, трещиноватости, пористости, флюидонасыщенности пород, то есть получение необходимых параметров для создания полноценных геологических моделей по заданным сечениям. Безусловно, основными в комплексе остаются продольные волны.

Для реализации методики МВС в пространственных системах наблюдения

получили широкое применение двух – или трехкомпонентная регистрация при однокомпонентном возбуждении (3D/3C, 2C).

Зачастую сейсморазведочные компании, выполняющие площадные многоволновые исследования, применяют «стандартные» системы наблюдений, оптимальные для регистрации продольных (PP) волн, не обращая внимания на то, что обменные волны характеризуются другой геометрией лучей по сравнению с продольными волнами, в связи с чем получаются очень не регулярные карты кратности точек обмена. Это, как отмечается в литературных источниках, является неизбежным изъяном горизонтальных компонент массивов данных 3D/3C [Кузнецов В.М. и др. 2013].

Использование различных систем наблюдений для PP и PS волн не практично и экономически неэффективно.

Кроме того, совершенно очевидно, что анализ и обработку горизонтальных и вертикальных компонент имеет смысл выполнять по единой сетке бинов, то есть с бинами, имеющими единый размер для того, чтобы иметь возможность совместной интерпретации двух массивов данных.

В дополнение ко всему, все пространственные системы 3D имеют недостатки, с которыми следует смириться - это присутствие неоднородной структуры трасс в бине и, как следствие, наличие следов системы наблюдения («фут-принт») на горизонтальных срезах.

Целью дальнейшего нашего повествования является разработка условий, при которых система наблюдения будет максимально лишена вышеупомянутых недостатков, то есть, необходима систе-

ма наблюдений 3D/3C обладающая следующими свойствами:

- одна система наблюдений для PP и PS волн;
- одноименная равномерная номинальная кратность на PP и PS волнах;
- единый размер бина для PP и PS волн;
- минимальное наличие следов системы наблюдения («футпринт») на горизонтальных срезах.

В сухопутной сейсморазведке с целью уменьшения влияния следов системы наблюдений при выполнении сейсмических исследований 3D предложены следующие простые критерии [Левянт В.Б. и др. 2009]:

- одинаковые максимальные удаления в продольном и поперечном направлениях (полноазимутальная съемка);
- одинаковые расстояния между линиями приема и возбуждения;
- одинаковые интервалы между пунктами приема и возбуждения;
- одинаковая кратность по направлениям линий приема и возбуждения;
- отстрел активной расстановки из группы пунктов возбуждения, расположенных между центральными линиями приема (короткий «залп»).

Полная однородность структуры трасс в бинах принципиально не может быть обеспечена. Однако для полноазимутальных систем с вышеперечисленными характеристиками различия структуры трасс в бинах и проявление «футпринт» минимальны.

При конструировании шаблона в дизайне съемки 3D/3C, воспользуемся нижеследующими выражениями:

$$(NRpL \times RI) / \text{Inline Roll} = 6, 12, 24, \dots \quad (1)$$

где, NRpL – количество ПП на ЛП, RI – шаг ПП на ЛП, Inline Roll – интервал

перемещения шаблона вдоль полосы в метрах.

$$(NRL \times RLI) / \text{Crossline Roll} = 6, 12, 24, \dots \quad (2)$$

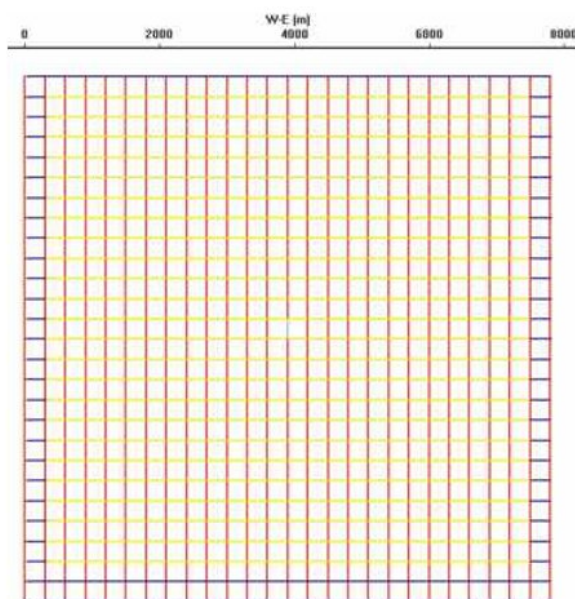
где, NRL – количество ЛП в полосе, RLI – интервал между ЛП, Crossline Roll – интервал перемещения шаблона на смежную полосу в метрах.

Суть выражений (1) и (2) сводится к тому, что число перекрытий проектного шаблона по направлениям Inline и CrossLine должно быть строго кратно цифре «шесть».

Первоначально спроектируем дизайн съемки 3D/3C и проанализируем его применительно к сухопутным условиям.

В Таблице 1 представлены параметры одного из вариантов сухопутной съемки 3D/3C, где кратность перекрытий шаблона по направлениям Inline и CrossLine равна 24. В схеме наблюдений учтены вышеприведенные критерии.

Схема наблюдений и конфигурация шаблона сухопутной съемки 3D/3C приведена на рисунке 1.



▲ Рис. 1. Схема наблюдений и конфигурация шаблона сухопутной съемки 3D/3C.

▼ Табл. 1. Основные параметры сухопутной системы наблюдений 3D/3C.

Наименование параметров	Значения параметров
<i>Параметры, определяющие качество сейсмической съемки</i>	
Полная номинальная кратность	144
Кратность по направлению линий приема (ЛПП)	12
Кратность в направлении ортогональном ЛП	12
Размер бина для PP-волн [м × м]	12.5 × 12.5
Размер бина для PS-волн [м × м]	16.666 × 8.333
Максимальное значение минимальных удалений	407
Максимальное удаление "взрыв-прием" [м]	5073
Размер полуосей единичной расстановки [м×м]	3587.5 × 3587.5
Соотношение полуосей шаблона = $X_s : X_r$	1.00
$X_r : X_s$	1.00
<i>Описание шаблона и его перемещений</i>	
Геометрия линий приема в шаблоне	
Количество линий приема (ЛП) в полосе	24
Интервал между линиями приема [м]	300
Количество пунктов приема (ПП) на ЛП	288
Шаг пунктов приема на ЛП [м]	25
Количество активных каналов	6912
Геометрия линий возбуждения в шаблоне	
Количество линий взрыва на единичной расстановке	1
Интервал между линиями взрыва (ЛВ), [м]	300
Количество пунктов взрыва (ПВ) на линии взрыва	12
Шаг пунктов взрыва на линии взрыва	25
Параметры перемещения шаблона	
Перемещение шаблона вдоль полосы [м]	300
Перемещение шаблона на смежную полосу [м]	300
<i>Тип системы наблюдений</i>	
Характер расположения линий взрыва	Крестовый
Тип системы наблюдений (в направлении ЛП)	Симметричный

Мы знаем, что при шаге наблюдений пунктов возбуждения и приема равными 25 м размер бина для продольных (PP) волн будет иметь 12.5 × 12.5 м, для обменных (PS) – 16.666 × 8.333 м [Череповский А.В. 2012]. Следовательно, единый размер бина для PP и PS волн будет составлять величину 50 м (для PP – волн 12.5 м × 4 = 50 м, для PS волн – 16.666 × 3 = 50 м, 8.333 × 6 = 50 м). Номинальная кратность на PP и PS волнах при едином размере бина 50 × 50 м равномерно распределена по площади и равна 144 × 4 = 576.

При необходимости можно уменьшить единый размер бина в два раза,

повысив тем самым разрешающую способность по латерали. Достигнуть этого можно не только путем сокращения шага наблюдения пунктов возбуждения и пунктов приема, но и путем сдвига линий пунктов наблюдения при выполнении наблюдений на величину, равную 1/4 шага между каналами. Причем сдвиг выполняется в противоположные направления для четных и не четных линий приема.

При шаге наблюдения пунктов возбуждения и приема равными 25 м и сдвигах линий приема на 1/4 шага между каналами, размер бина для продольных (PP) волн будет иметь 6.25 × 12.5 м, для

обменных (PS) – 8.333×8.333 м.

Тогда в этом случае, единый размер бина для PP и PS волн будет иметь величину 25 м (для PP волн $6.25 \times 4 = 25$ м, $12.5 \times 2 = 25$ м, для PS волн – $8.333 \times 3 = 25$ м). Номинальная кратность на PP и PS волнах при едином размере бина 25×25 м равномерно распределена по площади и равна $144 \times 4 = 576$.

Получение карт с равномерной номинальной кратностью для продольных (PP)

и обменных (PS) волн справедливо применительно не только к полноазимутальным, но и к другим видам съемок 3D/3C при соблюдении по направлениям InLine и CrossLine условий (1) и (2).

В Таблице 2 представлено сопоставление атрибутов сейсмической съемки для продольных (PP) и обменных (PS) волн, полученных в результате анализа системы наблюдений, представленной в Таблице 1 со сдвигом попарно приемных линий.

▼ Табл. 2. Атрибуты сухопутной сейсмической съемки 3D/3C.

Общий размер бина 25×25 м, номинальная кратность $\Sigma 576$			
№/№	Значения атрибутов	Вид атрибутов	
		Продольные (PP) волны	Обменные (PS) волны
1	Распределение номинальной кратности		
2	Распределение ближних удалений		
3	Распределение дальних удалений		
4	Распределение эффективной кратности на глубине 2000 м		
5	Распределение азимутов и удалений в бине для центральной части бокса		
6	Гистограмма статистического распределения		
7	Гистограмма статистического распределения удалений		
8	Роз - диаграмма статистического распределения удалений по азимутам		

При вычислении параметров по обменным (PS) волнам принималось значение $V_p/V_s = 2.0$.

Как видно из Таблицы 2, форма и цвет атрибутов сейсмической съемки 3D/3C для продольных (PP) и обменных (PS) волн практически совпадают между собой. Исключение составляет только атрибут «распределение ближних удалений».

Если учитывать, что параметры сухопутного дизайна съемки для продольных (PP) волн (Таблица 1) соответствуют максимально приближенным к идеальным, то, вероятно, и результат его реализации применительно к обменным (PS)

волнам будет обладать теми же свойствами.

Далее спроектируем дизайн съемки 3D/3C и проанализируем его применительно к мелководным транзитным условиям.

При наземных сейсмических исследованиях пункты возбуждения редко выходят за контур приемной расстановки, а при работах с донными кабелями – это распространенный методический прием, позволяющий обеспечить полную кратность при перекладывании приемных линий. В связи с этим ни один вид систем наблюдений на акваториях полностью не может удовлетворять

▼ Табл. 3. Основные параметры транзитной системы наблюдений 3D/3C.

Наименование параметров	Значения параметров
<i>Параметры, определяющие качество сейсмической съемки</i>	
Полная номинальная кратность	144
Кратность по направлению линий приема (ЛПП)	12
Кратность в направлении ортогональном ЛП	12
Размер бина для PP-волн [м × м]	12.5 × 12.5
Размер бина для PS-волн [м × м]	16.666 × 8.333
Максимальное значение минимальных удалений	407
Максимальное удаление "взрыв-прием" [м]	5073
Размер полуосей единичной расстановки [м×м]	3587.5 × 3587.5
Соотношение полуосей шаблона = $X_s : X_r$	1.00
$X_r : X_s$	1.00
<i>Описание шаблона и его перемещений</i>	
Геометрия линий приема в шаблоне	
Количество линий приема (ЛП) в полосе	1
Интервал между линиями приема [м]	300
Количество пунктов приема (ПП) на ЛП	288
Шаг пунктов приема на ЛП [м]	25
Количество активных каналов	288
Геометрия линий возбуждения в шаблоне	
Количество линий взрыва на единичной расстановке	1
Интервал между линиями взрыва (ЛВ), [м]	300
Количество пунктов взрыва (ПВ) на линии взрыва	12
Шаг пунктов взрыва на линии взрыва	25
Параметры перемещения шаблона	
Перемещение шаблона вдоль полосы [м]	300
Перемещение шаблона на смежную полосу [м]	300
<i>Тип системы наблюдений</i>	
Характер расположения линий взрыва	Крестовый
Тип системы наблюдений (в направлении ЛП)	Симметричный

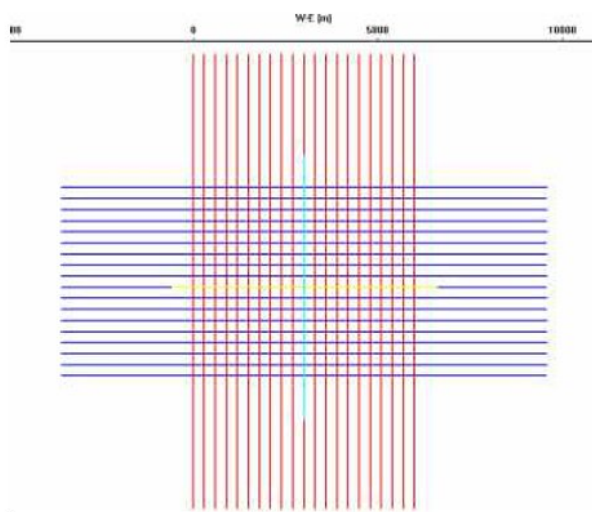
отмеченным ранее критериям наземной сейсморазведки 3D. Применение же короткого «залпа» в мелководных транзитных зонах является явно нетехнологичным.

Однако, пользуясь правилом «кратности шести», можно также конструировать съемки 3D/3C для транзитных зон с тем же успехом, как и для сухопутных исследований.

Чтобы приблизить съемки (сухопутную и транзитную) по параметрам, для рассмотрения транзитную съемку 3D/3C представим с шаблоном, которой состоит из одной линии приема и одной линии возбуждения (Таблица 3). Длина линий приема и возбуждения удовлетворяет выражениям (1) и (2). Кратность перекрытий шаблона по направлениям InLine и CrossLine оставлена прежней (24).

Схема наблюдений и конфигурация шаблона транзитной съемки 3D/3C представлена на рисунке 2.

Если сопоставлять параметры систем наблюдений, приведенных в Таблицах 1 и 3, то можно заметить, что кроме «количества линий приема в полосе» и «количества активных каналов» все прочие значения остаются без изменений.



▲ Рис. 2. Схема наблюдений и конфигурация шаблона транзитной съемки 3D/3C.

В принципе, мы знаем, что достоинством крестового блока наблюдений является широкий спектр удалений и азимутов, а недостатком – неравномерность распределения срединных точек по азимутам и удалениям. В дальнейшем мы увидим, как эти достоинства и недостатки отображаются на атрибутах.

Чтобы сопоставить атрибуты транзитной съемки в одном «ключе» с сухопутной, сделаем предварительно те же операции перед их вычислением, то есть выполним сдвиг приемных линий на величину, равную $1/4$ шага между каналами, а результат представим для единого бина 25×25 м.

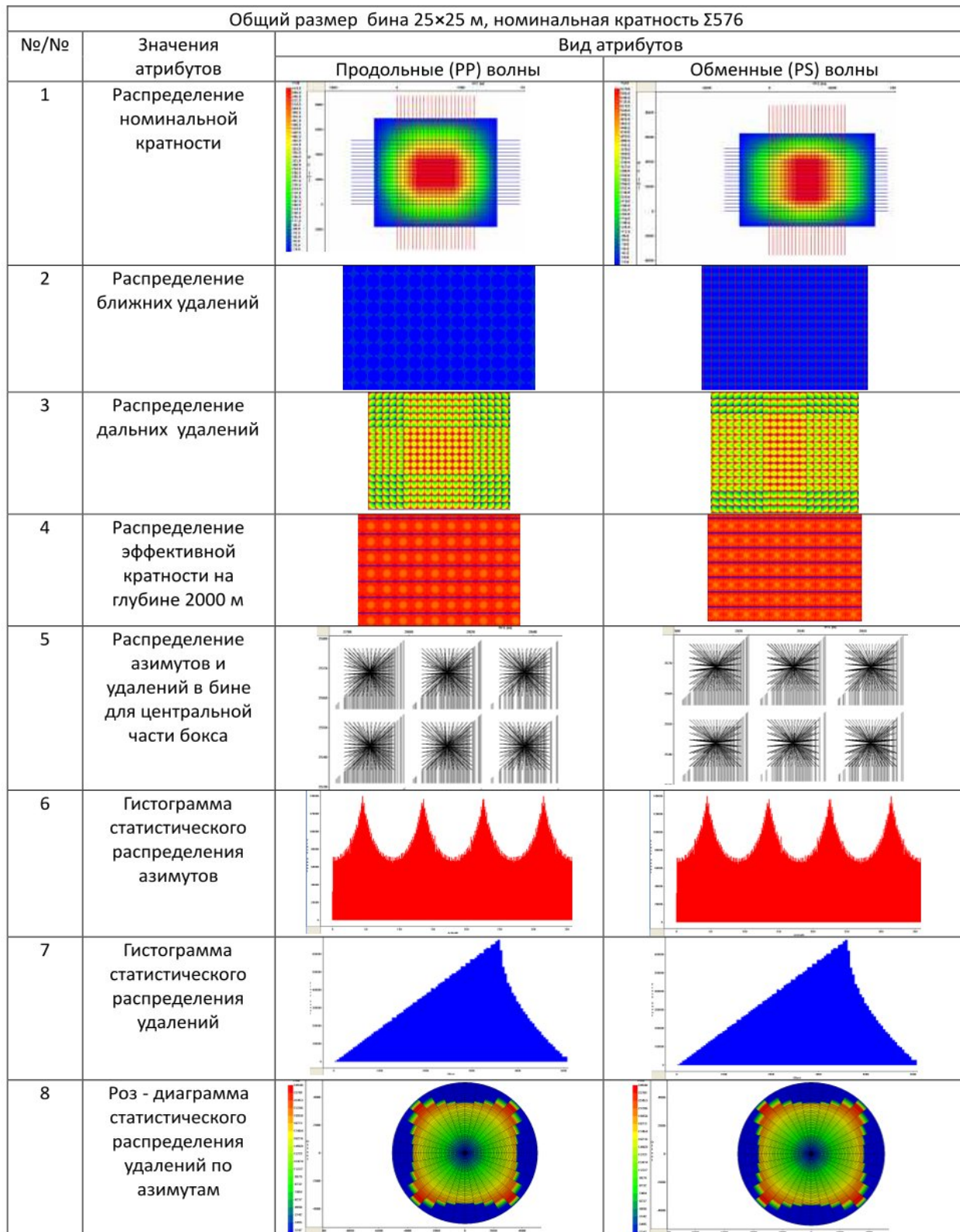
Номинальная кратность на PP и PS волнах при едином размере бина 25×25 м равномерно распределена по площади и равна $144 \times 4 = 576$.

В таблице 4 представлено сопоставление атрибутов сейсмической съемки для продольных (PP) и обменных (PS) волн, полученных в результате анализа системы наблюдений, представленной в Таблице 3.

Сравнение результатов показывает их практическую идентичность.

Представляет интерес сравнение рассмотренных результатов (атрибутов) «идеальной» сухопутной и транзитной съемок 3D/3C.

В целом, судя по характеристикам, транзитная съемка уступает сухопутной. В основном различия наблюдаются в графиках зависимости числа трасс от азимута (Таблица 1 и 2, строка 6). Полная азимутальность, то есть равномерное освещение по всем азимутам, обеспечивается для сухопутной съемки в пределах $\approx 65\%$ трасс, транзитной $\approx 45\%$ трасс. На роздиграммах мы видим вблизи пунктов взрыва низкую кратность. С увеличением удаления плотность трасс повышается, в большей степени в сухопутной съемке.



▲ Табл. 4. Атрибуты транзитной сейсмической съемки 3D/3C.

Важной характеристикой любой системы и ее элементов являются их спектры удалений. Гистограммы статистического распределения удалений

(Таблица 1 и 2, строка 7) мало различаются между собой, о чем также свидетельствует распределение азимутов и удалений в бине для центральной части

бокса (Таблица 1 и 2, строка 5).

Сближению статистических характеристик атрибутов сейсмических записей рассматриваемых съемок 3D/3C способствует объединение 4-х соседних бинов в один результативный бин, что обеспечивает существенное увеличение кратности и, как следствие, равномерности распределения по азимутам и диапазонам удалений. В результате повышается разрешающая способность анализа кинематических характеристик.

Если мы не сомневаемся в положительном качестве получаемых результатов сухопутной съемки 3D/3C, то сравнительный анализ ее атрибутов с транзитной съемкой 3D/3C позволяет предположить, что рассматриваемая система наблюдений с крестовым блоком в конечном итоге обладает достаточно однородным распределением характеристик (кратность, величина удалений и азимутов и др.). Это дает основание утверждать, что система наблюдений с крестовым блоком не внесет существенных искажений в регистрируемые динамические особенности сейсмических трасс конечного «куба сейсмической информации».

Несомненно, съемка с крестовым блоком наблюдений будет иметь очень низкую производительность. Чтобы выполнить дизайн съемки 3D/3C с одной линией пунктов приема и линией пунктов взрыва в технологичном и производительном вариантах, необходимо раскладывать одновременно столько линий приема, сколько позволяет полевое оборудование. При этом линию пунктов возбуждения необходимо отрабатывать на полную длину, выходя за крайние линии пунктов приема на проектное расстояние. В дальнейшем, надо в лабораторных условиях выполнить выборку пунктов возбуждения,

которые принадлежат соответствующим линиям пунктов приема, формируя тем самым проектный вид съемки.

Из вышесказанного можно сделать вывод о практической пригодности рассмотренной системы с крестовым блоком наблюдений для условий транзитных зон.

Выводы

При сейсмических исследованиях по методике 3D/3C рекомендуется применение:

- полноазимутальных систем наблюдения, которые позволяют обеспечить значительное увеличение доли информации, отвечающей условию равномерного освещения по всем азимутам;
- ортогональных систем наблюдений, достоинством которых является простая геометрия, создающая удобства проектирования и выполнения полевых исследований, а так же при обработке данных. Недостатки ортогональных систем (неравномерность распределения выносов и азимутов) нивелируются путем увеличения номинальной кратности посредством объединения соседних бинов;
- при составлении дизайна съемки применение правила «кратности шести», что позволит обеспечить без особых усилий карту кратности с равномерным номинальным значением по площади и необходимым максимальным удалением;
- для уменьшения размера бина общего для продольных (PP) и обменных (PS) волн рекомендуется при выполнении наблюдений сдвигать линии пунктов приема попарно в разные стороны на величину, равную 1/4 шага между каналами;
- на мелководье в транзитной зоне применение шага наблюдений менее 25 метров не рекомендуется. Связано это с тем, что существующие течения и волне-