

## Плотная сейсмика с применением кабельного оборудования и группированием приемников как альтернатива нодальным системам

■ Осипова А.В., Малюта С.И., Сибирский Федеральный Университет, Институт нефти и газа

*В статье рассматриваются результаты работ с применением кабельных систем, с увеличенной плотностью системы наблюдений, проводится анализ работ за прошлые года. Применяется опыт прошлых лет применения трехкомпонентных источников.*

*Наземная сейсморазведка, импульсное возбуждение, группирование приемников и источников, регистрация колебаний*

### Введение

Современная сейсморазведка с каждым годом наращивает количество активных каналов на км<sup>2</sup>, пог. км. Такой термин как «стандартная методика» уже давно размыт, так как в данный момент методику подбирают под поставленную задачу, на каждом участке работ.

Расширяется круг геолого-геофизических задач, повышается требование к объему и качеству материала. Увеличение количества каналов продиктовано рядом причин: увеличение производительности работ, применение многокомпонентной регистрации для получения дополнительной информации о геологическом разрезе, мониторинг эксплуатации месторождений [Киселев, Малюта, 2020].

Увеличение плотности сейсмотрасс в современной сейсморазведке возможно путем как сгущения ПВ – увеличение числа точек возбуждения или регистрации в движении Glide [Федоров, Череповский, 2020], [Кузнецов и др., 2020], так и сгущения ПП. Увеличение числа активных каналов сегодня достигается в том числе и добавлением бескабельных каналов, уплотняющих кабельную систему наблюдения. Однако, в России и СНГ, основное число проектов выполняется по-прежнему кабельными сейсморегистрирующими системами. Что объясняется сочетанием консервативного подхода

у заказчика к контролю качества, и относительно небольшим процентом бескабельных систем в эксплуатации [Wilcox, 2020].

Затраты на возбуждение одного ПВ обычно выше, чем затраты на установку одного ПП. И это становится определяющим при планировании полевых систем наблюдения. Кроме того, увеличение канальности повышает геологическую эффективность исследования за счет разрешенности и плотности сейсмического материала.

Сокращенный шаг между одиночными приборами позволяет применить лабораторное группирование (на этапе обработки данных) для подавления микросейсм [Кузнецов и др., 2013]. Группирование сейсмоприемников, являющееся общепринятым способом подавления ряда помех, представляет собой низкочастотную фильтрацию значительно ослабляющую высокочастотную часть спектра сейсмического сигнала. Действие такой фильтрации можно избежать, не снижая преимуществ группирования, если регистрировать сигнал каждого сейсмоприемника в группе отдельно, а затем реализовать оптимальное группирование при обработке. Естественно, такой подход требует значительного увеличения числа каналов регистрации.

Целью проводимого опыта в условиях

реальных производственных работ, была проверка качества полученного в результате уплотнения ПП материала в сравнении с проектной методикой.

### ПРОГРАММА И МЕТОДИКА РАБОТ

#### Порядок проведения испытаний, результаты работ

В феврале 2021г. на участке работ Восточной Сибири (Иркутской области) были проведены опытно методические работы (ОМР). На данной площади это уже вторые ОМР с изменением плотности во время работ. Первые проводились в феврале 2014г., однако там использова-

лись трехкомпонентные сейсмоприемники DSU 1. Работы в 2021г. выполнялись со сгущением приемной расстановки в местах возможной потери кратности

В таблице 1 представлены методики работ в 2014 и 2021 годах.

Оборудование на профиле расставлено по стандартной схеме, группирования сейсмоприемников 6 шт. на булавке (база 12,5 м) /на площадке (установка в точку), ПП через 50 м. в местах невозможности отработки данные ПВ сносились вдоль профиля на минимально возможные расстояния со своей активной расстановкой, таким образом активная

▼ Табл. 1. Методика проведения опытных работ.

| Параметры методики полевых наблюдений  | Опытные работы 2014г                                     | Опытные работы 2021г                  |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Метод                                  | МОГТ-2D-3C                                               | МОГТ-2D                               |
| Система наблюдения                     | Центральная, симметричная                                | центральная                           |
| Количество активных каналов            | 401                                                      | 161/321(641)*                         |
| Минимальное удаление ПВ-ПП(м)          | 0                                                        | 0                                     |
| Максимальное удаление ПВ-ПП(м)         | 4000                                                     | 4000                                  |
| База наблюдения (м)                    | 8000                                                     | 8000                                  |
| Шаг ПВ (м)                             | 40                                                       | 50                                    |
| Шаг ПП (м)                             | 20                                                       | 50/25(12.5)*                          |
| <b>Параметры возбуждения колебаний</b> |                                                          |                                       |
| Источник возбуждения                   | Невзрывной                                               | невзрывной                            |
| Количество накоплений                  | 4                                                        | 2-4                                   |
| Тип источников                         | «Енисей –КЭМ-4»                                          | «Енисей –КЭМ-4»                       |
| Количество накоплений                  | 16                                                       | 4-12**                                |
| База группирования источников          | 40                                                       | 25                                    |
| кратность                              | 100                                                      | 80/160(320)                           |
| <b>Параметры регистрации колебаний</b> |                                                          |                                       |
| Тип сейсмостанции                      | Sersel428xl                                              | Sersel428xl                           |
| Тип сейсмоприемников                   | Трехкомпонентные сейсмоприёмники (одиночные DSU 1-4link) | GS-20DX 6S1P                          |
| Количество с/приемников на канал       | 6                                                        | 6                                     |
| Способ группирование с/приемников      | Последовательно-параллельное                             | Линейное параллельно-последовательное |
| Шаг дискретизации (мс)                 | 1                                                        | 2                                     |
| Длительность регистрации               | 8                                                        | 4                                     |

\*- на профиле 4 помимо обычного сгущения ПП до 25м было опробовано сгущение шага ПП до 12.5 м с установкой приемников в базу 12.5 целью получения материала лучшего качества в речной зоне, где передвижение источников невозможно ввиду поверхностных условий, а расстояние до следующего ПВ где отработка возможна, составляло 4600м.

\*\* - на площади было применено САУ



ПП 50  
ПВ 50  
Активная расстановка 161 канал

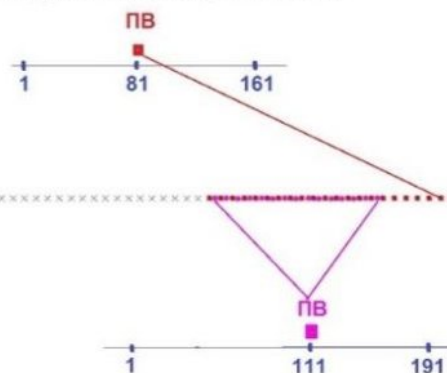
При пропуске 30 ПВ по 15 ПВ переносим в разные стороны с детализацией 25 м

Активную расстановку увеличиваем в два раза от количества пропуска ПВ

В данном случае смещение 15 ПВ увеличение активной расстановки на 30 каналов в сторону пропуска



Стандартная активная расстановка



▲ Рис.1. Схема компенсации пропуска ПВ при работах 2Д.

расстановка оставалась прежней, а пункт возбуждения был смещен относительно своего проектного положения. Однако при данном методе нельзя было сохранить номинальную кратность в местах невозможности отработки ПГН, данные участки принято считать местами падения кратности ниже номинальной (проектной).

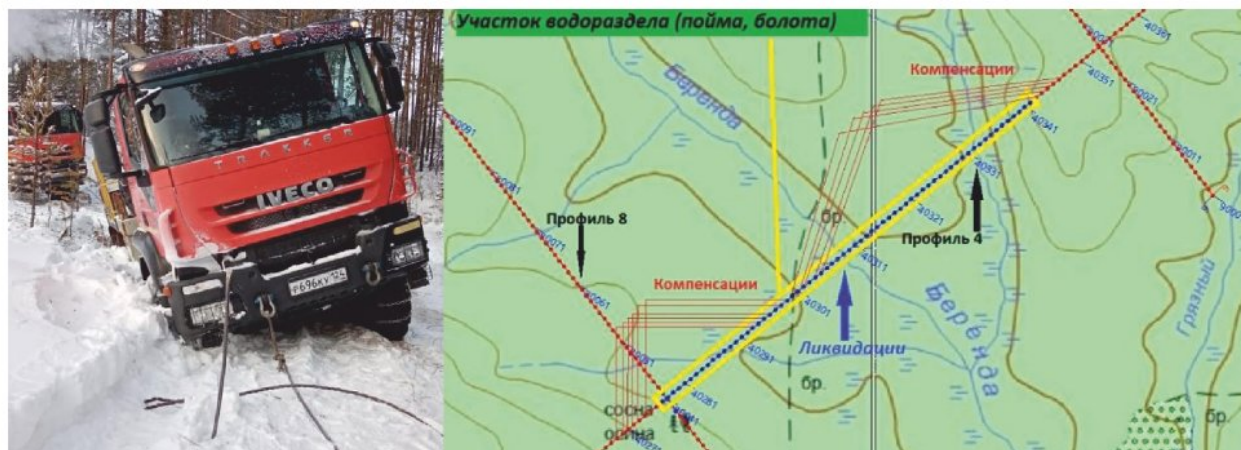
В таких ситуациях обычно сгущают ПВ или ПП, но так как большая доля затрат пойдет на организацию работ по возбуждению упругих колебаний, было очевидно, что целесообразно увеличивать количество активных каналов на один ПВ. Тогда в местах падения кратности шаг ПП составил 25м (рис.1), однако, оставалась еще одна проблема. Количество

каналов на проекте было ограничено, а в месте самого большого разрыва 4600м (рис.2), на закрытие такого разрыва при шаге ПП равном 12.5 м с фланговым группированием сейсмоприемников для обеспечения сохранения кратности в данной зоне, потребовалось бы в 4 раза больше приемников и звеньев.

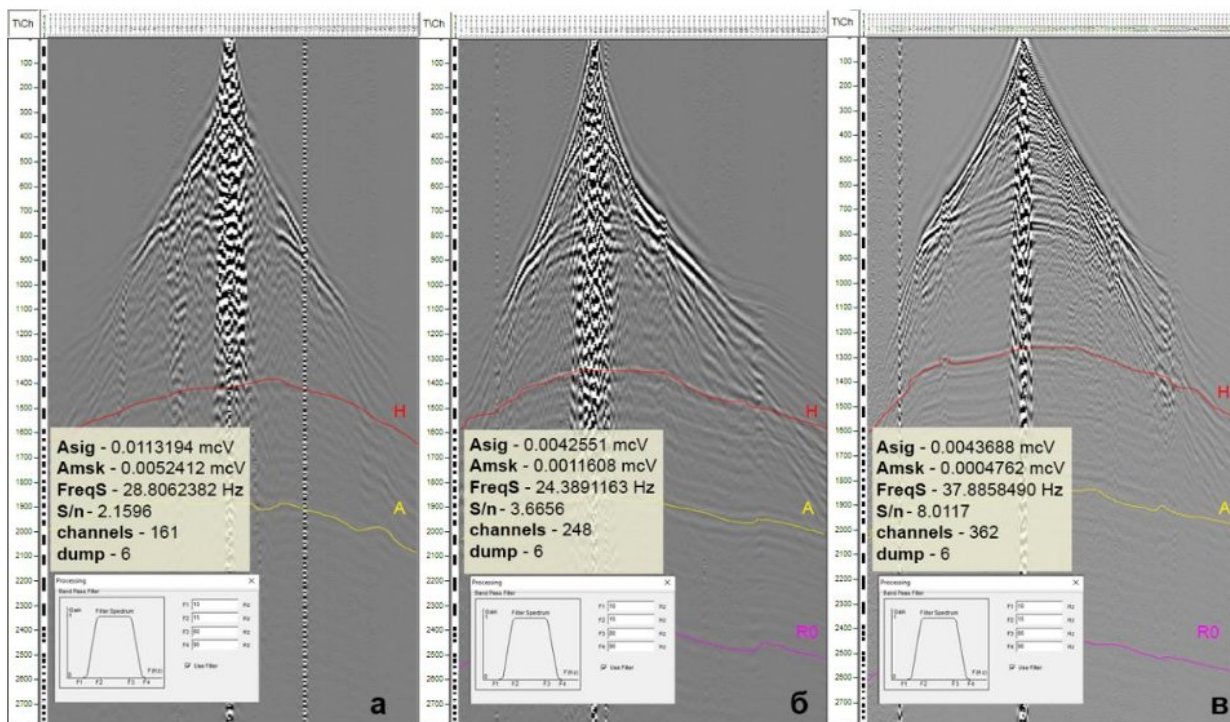
Разумеется, сохранить текущую производительность стало проблематично, так перематывать пришлось больше, а для этого потребовались дополнительные человеческие ресурсы, но и попросту не хватало оборудования.

Тогда был предложен плавный переход, от шага 50 до 12.5, сектор с наибольшим разрывом поделится на 4 равных длины, 1 и 4 участок приёмники устанавли-

▼ Рис.2. Схема пропуска ПГН на ПР4, фото источника на профиле.







▲ Рис. 3. Изменение качества сейсмограмм с изменением шага ПП  
 а. шаг ПП 50м установка в точку  
 б. шаг ПП 25м установка в точку  
 в. шаг ПП 12,5м с фланговым группированием сейсμοприемников

ливались с шагом 25м, а 2 и 3 участок с шагом 12,5, таким образом была сохранена не только производительность на локальном участке, но и увеличена кратность, в центре разрыва на 2,5%, по краям 21,25%.

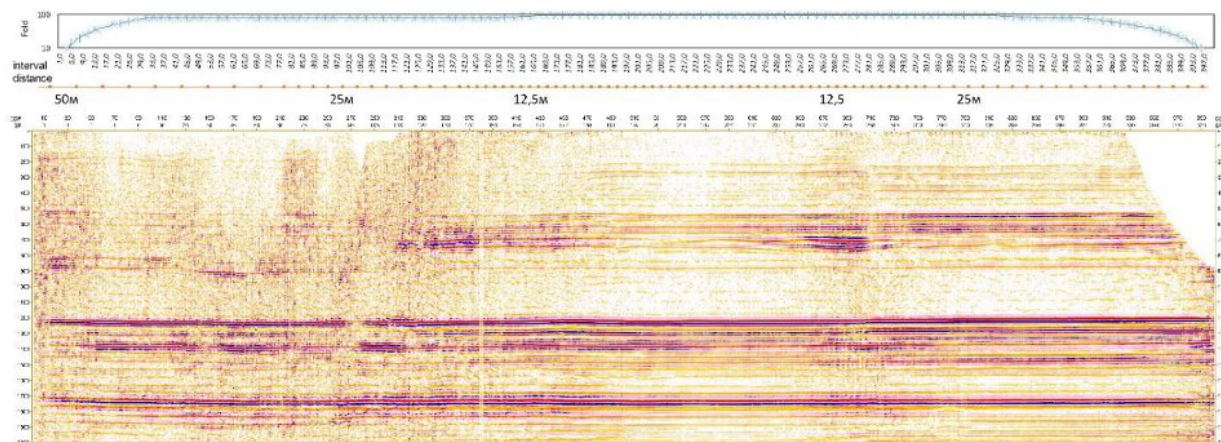
На рисунке 3 представлены сейсмограммы с разной плотностью приемников на пог.км полученные на профиле №4. Благодаря сгущению шага ПП и применению группирования приемников, разрешенность сейсмограммы выросла в 2-4 раза.

Несмотря на то что разница неочевидна на первый взгляд, при детальном анализе можно заметить, что шумов и различных помех в сейсмограмме стало меньше, как в самом конусе, так и в области микросейсм (после применения полосового фильтра 10-15-80-90), при увеличении канальности стали лучше просматриваться горизонты на сейсмограмме. При 161 канале в режиме пики-

ровки это было сделать проблематично, то при 361 канале пикировка упростилась в разы, а автопикировка стала работать с меньшей погрешностью.

Разница наглядна. Эффект, возникающий вследствие группирования сейсμοприёмников, объясним тем, что отражённые волны, приходящие из нижнего полупространства, характеризуются фронтами близкими к горизонтальным и поэтому практически одновременно подходят к различным сейсμοприёмникам группы, синфазно суммируясь и увеличивая, таким образом, амплитуду на выходе группы в  $\approx N$  раз, где  $N$  – число сейсμοприёмников в группе. Вместе с тем поверхностные волны-помехи, распространяющиеся с относительно низкими скоростями вдоль профиля, приходят к соседним приборам группы со значительными фазовыми сдвигами и поэтому, по сравнению с синфазным суммированием, при сложении могут существенно ослабляться. Тем самым





▲ Рис. 4. Изменения качества разреза с изменением шага ПП, вдоль профиля №4.

при использовании групп сейсмоприемников можно получить более качественный материал, нежели с одним геофоном (установкой группы в точку).

Изменение шага ПП вдоль профиля (рис.4) показано схематично (так как при данном масштабе разглядеть ничего не получится), но с соблюдением пропорций. Изменения кратности построенного разреза, видно невооруженным глазом. Благодаря высокой плотности приемников удалось не только сохранить кратность, но и повысить разрешенность полученного материала, на рисунке 5 представлен разрез без использования функции F-X деконволюции, с применением миграции по сейсмограммам, а привязавшись к основанию, можно выделить нужные горизонты

Поверхностная геология района работ спокойная, с минимальным количеством интрузии, сейсмогеологические условия благоприятные. Этот факт позволяет получить материал хорошего качества на суммарных разрезах несмотря на работу при повышенных шумах. В целом, экспертная обработка профиля 4 показывает, что качество полученных сейсмограмм по профилю удовлетворительное, качество полученного разреза – хорошее.

Следует заметить, что дальнейшее повышение разрешенности возможно при более плотной съемке и отказе от

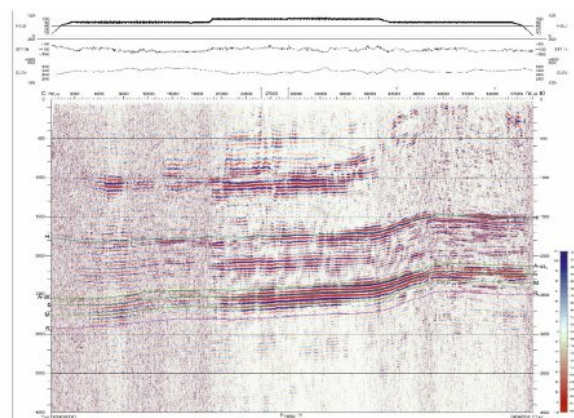
группирования источников, например, при использовании технологии работы источников в движении, когда возбуждение осуществляется через 5-8 м [Баландин и др., 2019].

Разумеется, не надо забывать, что с данной плотностью на работах 3Д при использовании кабельных систем неизбежны другие проблемы (утечки, доставка), которые возникают в следствии несовершенства данных систем. Беспроводные же системы лишены этих недостатков, и обладают рядом других преимуществ, таких как легкость, компактность используемых приемников.

## ВЫВОДЫ

На основании проведенного опыта во время производственных работ и полученных результатов можно сделать

▼ Рис. 5. Разрез - профиль №4 без F-X\_decon, с выделенными горизонтами





следующие выводы:

Эффективность используемых групп зависит от величины базы и числа элементов группирования, от распределения чувствительности для различных элементов интерференционной системы, а также от параметров волн-помех и целевых отражений.

Сравнение сейсмических данных по профилю 4, говорит о том, что увлечение плотности системы наблюдения дает не только разрешенность и качество полученного материала, но и производительность при работе.

Небольшое расстояние между каналами позволит увереннее осуществлять обработку и интерпретацию записей первых вступлений с построением детальной скоростной модели, необходимой для вычисления статических поправок.

Несмотря на то, что за нодальными системами будущее, особенно в плане реализации новых технико-методических приемов сейсморазведки, кабельные системы, на данный момент и ближайшие 5-10 лет могут составить конкуренцию новым системам, при условии новых подходов использования традиционных систем наблюдения, в частности, при увеличении плотности наблюдений.

### Литература

1. Абдулвалиев М.Т., Тиссен А.П., Череповский А.В., 2020, Контроль качества в современных бескабельных регистрирующих системах: Приборы и системы разведочной геофизики, №1;
2. Детков В.А., Баландин П.В., Копылов М.А., 2019, Технология возбуждения упругих колебаний в движении GLIDE: Приборы и системы разведочной геофизики, №2;
3. Киселев В.М., Малюта С.И., 2020, Оценка беспроводной телеметрии WANS и кабельных систем ARAMARIESи SERSELна основе спектрального и микросейсмического анализа: Приборы и системы разведочной геофизики, №2;

4. КузнецовЕ.С., БаландинП.В., Дробинский А.А., Череповский А.В. 2021, Результаты анализа полевых данных OMP МОГТ-3D, полученных по технологии возбуждения сигнала в движенииGLIDE: Приборы и системы разведочной геофизики, №1;

5. КузнецовВ.М., ШехтманГ.А., Череповский А.В., 2013, Технические средства в многоволновой сейсморазведке: Технологии сейсморазведки, № 1;

6. ФедоровА.Б., Череповский А.В., 2020, Скользящие цифровое накапливание при импульсном возбуждении упругих волн в движении по технологии GLIDE: Приборы и системы разведочной геофизики, № 4;

7. Череповский А.В.,Пришло ли время отказаться от группирования в пользу одноканальных сейсмоприемников? // Геофизика. 2010. № 3;

8. Dean, T., Tulett, J. and Barnwell, R., 2018, Nodal land seismic acquisition: The next generation. First Break, 36;

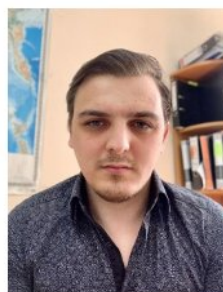
9. Wilcox,S., What to expect in the terrestrial nodal systems segment?:First Break; February 2020, Vol 38, No 2.

### Подробнее об авторах



ОСИПОВА  
Анна Владимировна

аспирант, ассистент  
кафедры Геофизики,  
Сибирский Федеральный  
Университет, Институт  
Нефти и Газа



МАЛЮТА  
Станислав Игоревич

геофизик,  
«ГЕОТЕК-ВГК»,