

## Сравнительные полевые испытания импульсного гидропневматического источника сейсмических волн ГПИ-2

■ Селезнев В.А., Михеев С.И., ФГУП «НВНИИГ», г.Саратов,

■ Экомасов С.П., ОАО «Инженерно-технический центр «Силовые импульсные системы», г.Москва,

■ Паоло Барбиери, фирма «RALOT», г.Москва

В настоящее время наибольшее распространение в практике сейсморазведочных работ на углеводородное сырье получили вибрационные источники [2, 3, 6, 7 и др.]. Они доказали свою высокую геологическую и экономическую эффективность при решении нефтегазопроисловых задач, хорошо обоснованы теоретически и экспериментально. Сравнительно меньшее применение в современной практике имеют импульсные невзрывные источники [1, 3, 7 и др.]. В качестве примеров успешных разработок можно привести электромагнитные излучатели «Енисей» и «Геотон», которые хорошо себя зарекомендовали при съемках 2D и 3D в различных сейсмогеологических условиях. В тоже время, в близкой перспективе, вследствие ряда методических преимуществ, вибросейс вряд ли уступит лидирующее положение при проведении геологоразведочных работ на нефть и газ импульсным невзрывным источникам. Одновременно, при решении некоторых задач импульсные невзрывные источники оказываются, по сравнению с вибрационными, более эффективными. К таким задачам, по нашему мнению, относится изучение верхней части разреза.

При проведении сейсморазведочных работ на нефть и газ ВЧР обычно изучают микросейсмокаротажом (МСК) или методом преломленных волн (МПВ). В любом случае условием получения надежных данных для вычисления статических поправок является высокое качество первых вступлений. Обеспечить указанное условие в случае применения вибрационного источника часто не

удается из-за высокого уровня корреляционных шумов, а также конусования свип-сигналов. Отметим, что с данной проблемой приходится сталкиваться и в получивших широкое распространение способах определения статических поправок по годографам первых вступлений на сейсмограммах ОГТ. По этой причине, после практически повсеместного перехода на вибрационные источники сейсмических колебаний, интерпретация годографов первых вступлений во многих случаях стала вызывать затруднения.

Исходя из вышесказанного, Саратовская геофизическая экспедиция ФГУП НВНИИГ уже более 30 лет использует для изучения верхней части разреза малоглубинную технологию МПВ с возбуждением сейсмических колебаний невзрывными импульсными источниками. При этом применяются сейсмические косы длиной 235-300 м и расстоянием между одиночными сейсмоприемниками 5 м. За длительный период опытно-методических и производственных работ МПВ специалистами экспедиции было опробовано несколько, в том числе и собственных конструкций импульсных невзрывных источников. Наибольший объем работ выполнен с применением одиночного газодинамического излучателя ГСК-6М на транспортной базе автомобиля Урал-43203. Поэтому он часто рассматривался в качестве эталона при анализе данных, полученных с другими источниками. Отметим, что несмотря на то, что имеющийся в экспедиции источник ГСК-6М имеет более чем

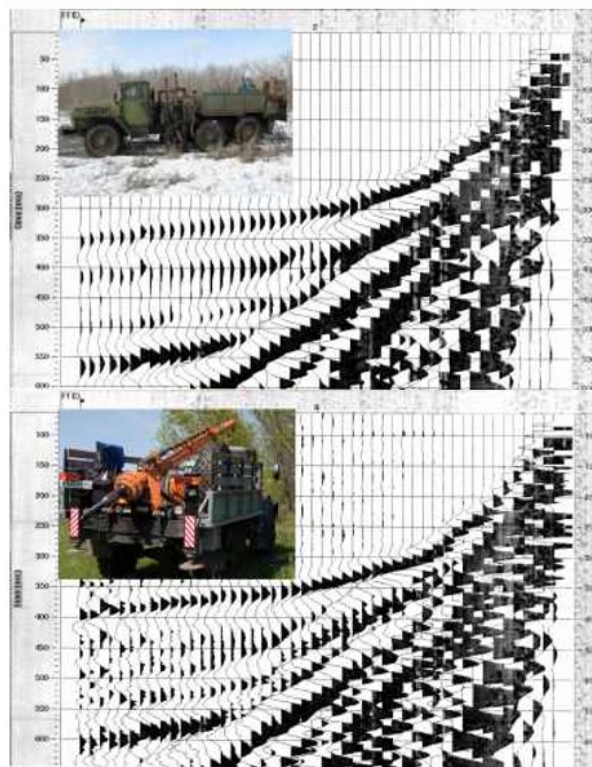
25 летний срок эксплуатации (5-ти кратное превышение амортизационного срока), он до сих пор находится в рабочем состоянии и эксплуатируется в производственном режиме. Но работы по его замене на более современный и надежный невзрывной источник целенаправленно ведутся уже длительное время.

За последние 10 лет с целью замены источников ГСК-6М в СГЭ было проведено опытное опробование различных невзрывных источников: Енисей-КЭМ, СВ-120/250ВИ, Геотон, ИНЭ, Терра, Тритон, АЛБТ, Квант, ИДД-20, ЭМИМГ (разработка СГЭ) и др. В 2015 году был опробован импульсный гидропневматический источник сейсмических волн ГПИ-2 (ОАО «Инженерно-технический центр «Силловые импульсные системы», фирма «RALOT» г.Москва). Для более полного представления о потенциальных возможностях ГПИ-2 при производстве сейсморазведочных работ предположим обсуждению результатов, полученных при его опробовании, данные сравнительных испытаний других источников.

По результатам выполненных в СГЭ исследований наиболее удачной разработкой был признан импульсный пневматический источник из семейства АЛБТ на шасси Газ-3308 разработки ЗАО «ГК Дельта-ЛОТ». По этой причине в 2008 г. он в течение шести месяцев эксплуатировался в производственном режиме на полевых работах МПВ в полевой партии СГЭ. Вместе с тем, наряду с достоинствами обсуждаемого пневматического источника, в ходе опытно-промышленных испытаний выявились и его недостатки. Основной из них – это относительно низкая, по сравнению с ГСК-6М, сейсмическая эффективность. Это видно уже на уровне визуального сопоставления позиционных сейсмограмм ОПВ,

полученных с разными вариантами возбуждения упругих колебаний (см. рис. 1а и 1б). На сейсмограмме 1 б, полученной с применением установки ЗАО «ГК Дельта-ЛОТ», отчетливо фиксируется повышенный уровень шумов, снижающих надежность корреляции выходящих в первые вступления волн.

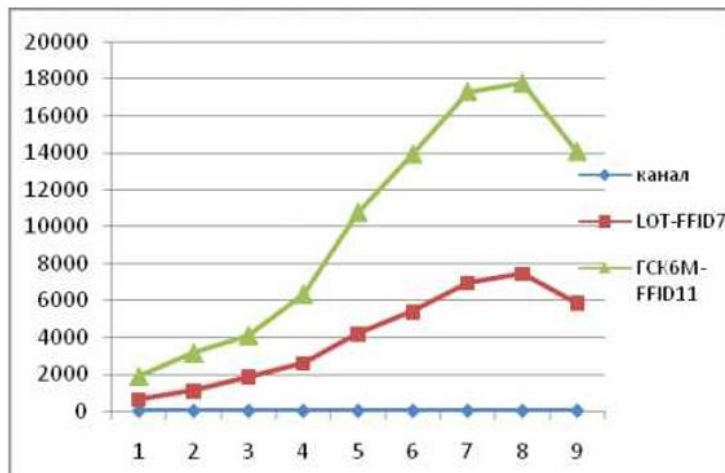
В пользу преимущества ГСК – 6М свидетельствуют и результаты анализа сейсмических атрибутов. Рисунок 2 демонстрирует графики и оценки максимальных амплитуд, определенных во временном окне ( $T_0 = 0.25 - 0.4$  с), включающем преломленные волны, для случая возбуждения упругих колебаний источником ГСК-6М и пневмоисточником АЛБТ. Судя по представленным графикам, в условиях проведенного эксперимента газодинамический источник приблизительно в два раза «выигры-



▲ Рис.1. Сравнение сейсмограмм МПВ ( $L=235$  м,  $Dx=5$  м, 1 возбуждение), полученных с различными импульсными источниками: а) с ГСК-6М; б) с пневмоисточником АЛБТ

### Сравнение максимальных амплитуд в окне регистрации преломленной волны

| №п/п               | канал | LOT-<br>FFID7 | ГСК6М-<br>FFID11 |
|--------------------|-------|---------------|------------------|
| 1                  | 40    | 648,26        | 1944,32          |
| 2                  | 41    | 1104,53       | 3204,74          |
| 3                  | 42    | 1871,32       | 4144,05          |
| 4                  | 43    | 2600,47       | 6381,61          |
| 5                  | 44    | 4190,34       | 10794,12         |
| 6                  | 45    | 5377,25       | 13944,14         |
| 7                  | 46    | 6974,83       | 17320,10         |
| 8                  | 47    | 7433,62       | 17781,36         |
| 9                  | 48    | 5859,15       | 14089,47         |
| Среднекв.<br>ампл. |       | 4006,64       | 9955,99          |



▲ Рис. 2. Сопоставление сейсмической эффективности источников ГСК-6М и АЛЪТ по максимальной и среднеквадратичной амплитуде возбуждаемых колебаний

вает» по максимальной амплитуде возбуждаемых колебаний по сравнению с пневмоисточником. То же можно сказать о среднеквадратичной амплитуде сейсмических сигналов, равной 4006 для источника АЛЪТ и 9956 для ГСК-6М.

На рис. 3 приведены графики и оценки среднеквадратичных амплитуд, также вычисленных во временном окне, включающем преломленные волны, но для случая возбуждения упругих колебаний электромагнитными источниками КЭМ-4 (700В) и ВОЛГАРЬ. Для сравнения вновь приведены данные для ГСК-6М. На рисунке 3 видно, что амплитуда колеба-

ний, возбуждаемых ГСК-6М, в разы превосходит таковые для случаев применения электромагнитных источников.

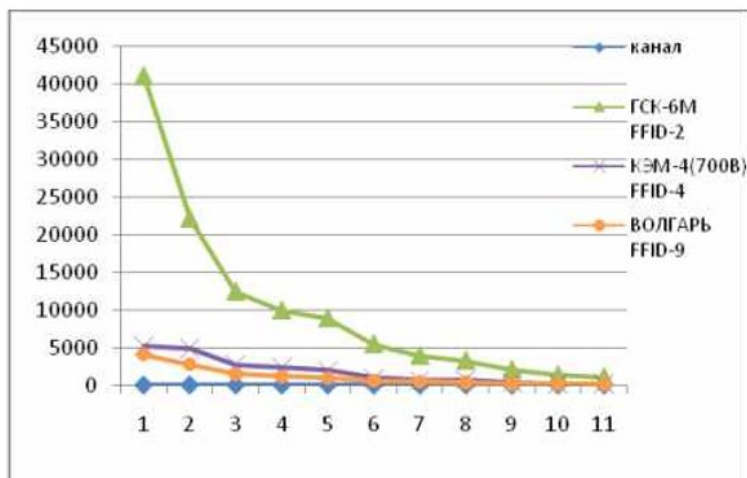
При сравнительных испытаниях ГСК – 6М с другими невзрывными источниками получены близкие, чаще всего еще более различающиеся результаты. Все это свидетельствует о предпочтительности использования газодинамического источника для изучения ВЧР. Поэтому испытания различных источников с целью замены ГСК – 6М без потери качества полевого материала продолжают до настоящего времени.

В феврале 2015 г. в филиале «СГЭ»

▼ Рис. 3. Сопоставление сейсмической эффективности источников ГСК-6М, КЭМ и ВОЛГАРЬ по максимальной и среднеквадратичной амплитуде возбуждаемых колебаний

### Сравнение максимальных амплитуд в окне регистрации преломленной волны

| №п/п               | канал | ГСК-6М<br>FFID-2 | КЭМ-<br>4(700В)<br>FFID-4 | ВОЛГАРЬ<br>FFID-9 |
|--------------------|-------|------------------|---------------------------|-------------------|
| 1                  | 7     | 41073,47         | 5229,01                   | 4129,01           |
| 2                  | 8     | 22155,74         | 4837,87                   | 2783,76           |
| 3                  | 9     | 12480,40         | 2734,80                   | 1516,94           |
| 4                  | 10    | 9979,71          | 2381,92                   | 1108,93           |
| 5                  | 11    | 8929,05          | 1982,53                   | 1000,64           |
| 6                  | 12    | 5516,52          | 982,44                    | 567,49            |
| 7                  | 13    | 3932,16          | 629,14                    | 425,73            |
| 8                  | 14    | 3315,96          | 780,96                    | 359,55            |
| 9                  | 15    | 2059,22          | 415,97                    | 189,54            |
| 10                 | 16    | 1387,15          | 198,12                    | 148,72            |
| 11                 | 17    | 1119,13          | 259,63                    | 137,13            |
| Среднекв.<br>ампл. |       | 10177,14         | 1857,49                   | 1124,31           |



ФГУП «НВНИИГГ» был опробован в полевых условиях новый импульсный гидропневматический источник сейсмических волн ГПИ-2 [5, 8]. Объективные основания ожидать его высокую эффективность определялись декларируемыми разработчиками техническими характеристиками [5]:

- Рабочий орган - гидропневматическая камера;
- Количество камер, шт. – 2;
- Максимальное усилие в ударном импульсе, МН (т) - до 2,7 (270);
- Частота рабочих циклов, Гц (ед./мин) - 0,083 (5);
- Масса гидропневматической камеры, кг-1000;
- Масса источника, кг – 18300;
- Рабочий диапазон температур -  $+40^{\circ}\text{C} \div -40^{\circ}\text{C}$ ;
- Возможность группирования источников и работа в режиме накопления - есть.

Источник сейсмических волн ГПИ-2 смонтирован на автомобиле УРАЛ-4320 (рис.4). Модульное исполнение силового блока позволяет с минимальными затратами времени и технических средств перенавесить его на любое транспортное средство необходимой грузоподъемности.

Основным элементом конструкции ГПИ-2 является гидропневматическая



▲ Рис. 4. Гидропневматический источник сейсмических волн ГПИ-2

камера, использующая в качестве рабочего тела сжатый воздух. Камера отличается простотой конструкции, характеризуется высокой надёжностью.

Воздух в источнике сжимается с помощью гидронасоса, смонтированного на валу отбора мощности базовой машины. Динамическое нагружение грунта осуществляется в процессе резкого расширения воздуха в рабочем объеме камеры. Использование одной и той же порции воздуха для совершения рабочих циклов повышает КПД источника примерно вдвое по сравнению с пневматическими и газодинамическими установками. Эксплуатация гидропневматических источников не требует использования дополнительных энергоносителей, кроме топлива для двигателя базовой машины. К несомненным достоинствам ГПИ-2 следует отнести его высокую эффективность. Судя по данным, приведенным в [5], по показателю эффективности (отношению суммарного усилия в ударном импульсе к массе установки) гидропневматический источник практически не уступает газодинамическому (см. таблицу 1) и существенно предпочтительнее по сравнению с другими типами установок.

Выполненные СГЭ опытные работы по испытанию источника ГПИ-2 проводились на одном из сейсмических профилей, отработанном в условиях солянокупольной тектоники Алтатинско-Ершовской зоны поднятий Прикаспийской впадины. Основной задачей полевых экспериментов являлось определение сейсмической эффективности ГПИ-2 при изучении верхней части разреза ВЧР методом первых вступлений (малоглубинное МПВ). Перед производством опытно-методических работ на источник была установлена система синхронизации ССВ-2 (разработчик ОАО «СКБ СП»).

| №<br>п/п                                     | Параметр                                              | ИСТОЧНИК СИГНАЛА                |                            |                       |                      |                                  |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------------|
|                                              |                                                       | Гидродинамический<br>(ГСК - 6М) | Пневматический<br>(ГСК -5) | Электромагнитный      |                      | Гидропневматический<br>(ГПИ - 2) |
|                                              |                                                       |                                 |                            | Енисей<br>КЭМ2        | Енисей<br>КЭМЧ       |                                  |
| 1                                            | Энергоноситель                                        | Бензино-кислородная<br>смесь    | Сжатый воздух              | Электрическая энергия |                      | Гидравлическая энергия           |
| 2                                            | Автономность                                          | Ограничена                      | Обеспечена                 | Обеспечена            |                      | Обеспечена                       |
| 3                                            | Суммарное усиление в<br>ударном импульсе МН<br>[тонн] | 3,0 (300)*                      | 1,5 (150)*                 | 0,5 (50)**            | 1,0 (100)**          | 2,7 (270)*                       |
| 4                                            | Масса рабочего органа, кг                             | 1000                            | 1000                       | 3000                  | 1800                 | 1000                             |
| 5                                            | Количество рабочих<br>органов на установке, шт.       | 2                               | 2                          | 2                     | 4                    | 2                                |
| 6                                            | Базовая машина                                        | Автомобиль «УРАЛ»               | Трактор Т-150К             | Автомобиль<br>«УРАЛ»  | Автомобиль<br>«УРАЛ» | Автомобиль «УРАЛ»                |
| 7                                            | Масса установки, кг                                   | 12000                           | 10500                      | 14000                 | 19600                | 12300                            |
| 8                                            | Показатель<br>эффективности, тонн/кг                  | 0,025                           | 0,014                      | 0,0036                | 0,005                | 0,022                            |
| * Параметр измерен на стенде ОАО «ИТЦ «СИО   |                                                       |                                 |                            |                       |                      |                                  |
| ** Расчетный параметр по данным разработчика |                                                       |                                 |                            |                       |                      |                                  |

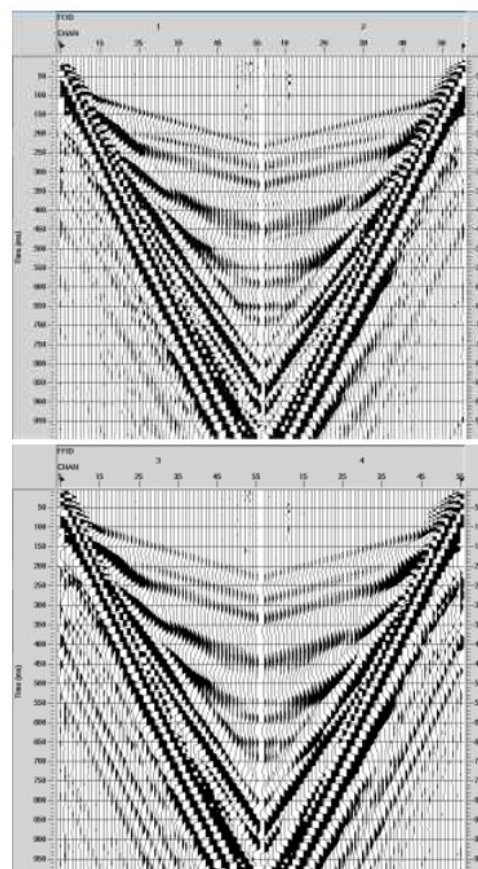
▲ Табл. 1. Сравнительная характеристика наземных импульсных источников сейсмических сигналов [5]

Полевые эксперименты проводились МПВ по следующей методике:

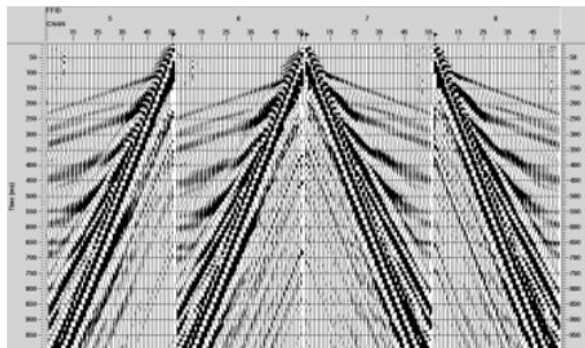
- система наблюдений – встречные географы;
- длина расстановки = 250м;
- расстояние между одиночными сейсмоприёмниками GS-20DX – 5м;
- количество каналов – 51;
- длительность записи – 1с;
- шаг дискретизации – 1мс;
- источники колебаний – ГСК-6М и ГПИ-2;
- сейсмостанция – «Прогресс-Л».

Полученные в поле материалы обрабатывались и анализировались в вычислительном центре Саратовской геофизической экспедиции в г.Саратове.

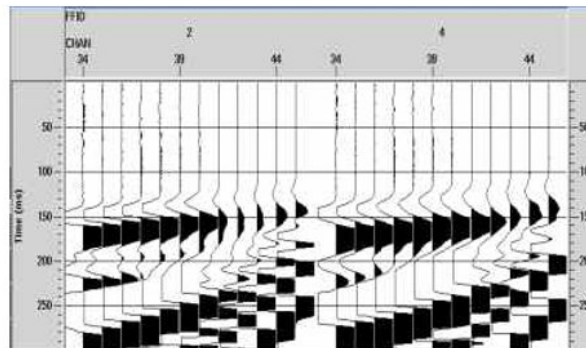
Визуальное сопоставление волновых полей зондирований МПВ, отработанных с источником ГСК-6М (рис. 5А) и ГПИ-2 (рис. 5Б), показывает их сопоставимую информативность. Отметим, что на рисунке 5 приведены результаты сравнительных испытаний при работе двух камер ГПИ-2. Также очень близкие к ГСК-



▲ Рис. 5. Монтаж волновых полей зондирований МПВ, отработанных с источником ГСК-6М (А) и ГПИ-2 (Б) при работе двух камер



▲ Рис. 6. Сравнение зарегистрированных сейсмограмм при работе одной камеры источника ГСК-6М (FFID 5, FFID 6) и GPI-2 (FFID 7, FFID 8)



▲ Рис. 7. Сравнение формы импульсов первых вступлений при возбуждении источником ГСК-6М (FFID 2) и GPI-2 (FFID 4)

6М по качеству сейсмического материала результаты были получены в случае, когда при работе испытуемых источников использовалось только по одной камере (см. рис. 6).

Для исключения влияния субъективного фактора результаты визуального сопоставления качества волновых полей, полученных с разными источниками, были дополнены вычислением и анализом различных количественных атрибутов сейсмической записи. В нашем случае определялись максимальные и среднеквадратичные значения амплитуд в окне, отвечающем времени регистрации первых вступлений, а также спек-

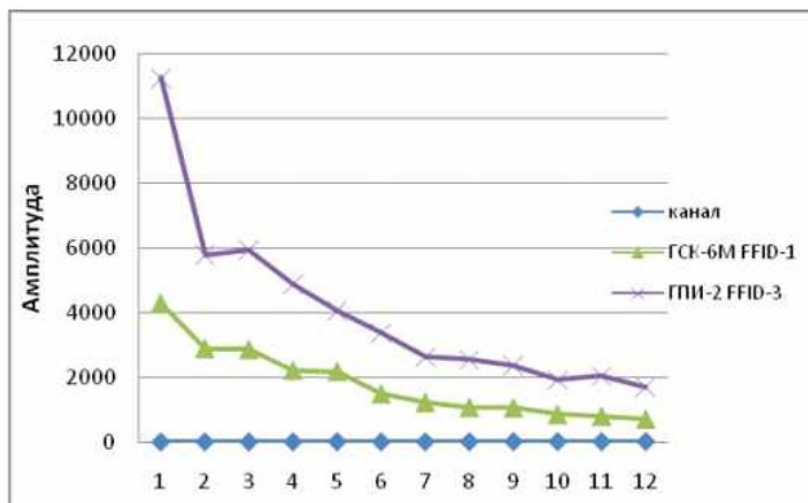
тральные характеристики сейсмической записи для того же временного окна. Судя по оценкам наблюдаемых максимальных и среднеквадратичных амплитуд преломленных волн (см. рис. 8), источник GPI-2 превзошел по сейсмической эффективности ГСК-6М во всех проведенных экспериментах.

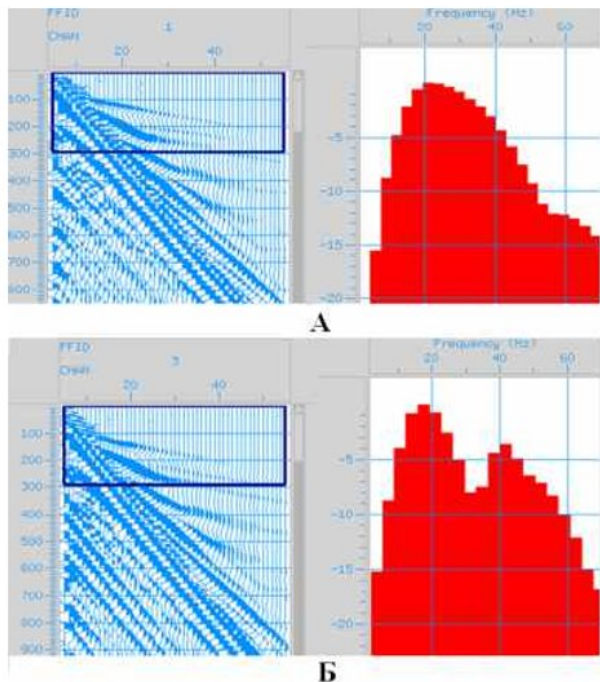
При этом существенного различия амплитудно-частотных спектров для сравниваемых источников в ходе опытно-методических работ не отмечалось.

В тоже время спектр возбуждаемых источником GPI-2 колебаний (рис. 9 Б) отличается хоть и незначительной, но повышенной энергией высокочастотных

▼ Рис. 8. Сравнение сейсмической эффективности источников ГСК-6М и GPI-2 по максимальной и среднеквадратичной амплитуде возбуждаемых колебаний

| № п/п           | канал | ГСК-6М<br>FFID-1 | GPI-2<br>FFID-3 |
|-----------------|-------|------------------|-----------------|
| 1               | 15    | 4274,65          | 11247,29        |
| 2               | 16    | 2884,02          | 5786,21         |
| 3               | 17    | 2851,42          | 5935,70         |
| 4               | 18    | 2213,97          | 4879,27         |
| 5               | 19    | 2179,49          | 4061,21         |
| 6               | 20    | 1491,02          | 3373,99         |
| 7               | 21    | 1224,92          | 2632,79         |
| 8               | 22    | 1075,71          | 2549,15         |
| 9               | 23    | 1054,77          | 2373,64         |
| 10              | 24    | 855,21           | 1914,53         |
| 11              | 25    | 803,79           | 2042,95         |
| 12              | 26    | 711,65           | 1696,65         |
| Среднекв. ампл. |       | 1801,72          | 4041,11         |





▲ Рис. 9. Амплитудно-частотные спектры сейсмических записей в окне 0-300мс при возбуждении источником ГСК-6М (А) и ГПИ-2 (Б)

гармоник по сравнению со спектром для ГСК-6М (рис. 9 А). Это позволяет ожидать некоторое повышение разрешенности сейсмических данных, получаемых в случае применения гидропневматического источника. Вместе с тем в ряде случаев при применении ГПИ-2 наблюдается усложнение формы спектра. Так на рисунке 8 спектр колебаний, возбужденных ГПИ-2, характеризуется двумя максимумами на частотах 19 Гц и 42 Гц, в то время как спектр колебаний, возбужденных ГСК-6М, имеет один максимум на частоте 21 Гц.

Обобщение и анализ вышеприведенных результатов полевых испытаний импульсного гидропневматического источника сейсмических волн ГПИ-2 приводят к следующим выводам:

- испытания показали высокую сейсмическую эффективность источника ГПИ-2, не уступающую источнику ГСК-6М;
- источник ГПИ-2 обеспечивает получение

ние высококачественного сейсмического материала при малоглубинных зондированиях МПВ;

- высокая сейсмическая эффективность, хорошие показатели КПД, удовлетворение высоким требованиям экологической безопасности, наряду с простотой эксплуатации, дают объективные основания рекомендовать внедрение ГПИ-2 в практику геологоразведочных работ. Помимо прочего, этому способствует транспортная база источника, позволяющая дополнительно разместить на ней современные телеметрические системы сбора данных, системы спутникового позиционирования и синхронизации. Тем самым создаются условия для сокращения количества транспортных средств, используемых при проведении сейсморазведочных работ, технического персонала, а также для снижения затрат на ГСМ.

Для реализации потенциальных возможностей гидропневматического источника, широкого внедрения его в практику сейсмических исследований состав и содержание выполненных опытно-методических работ следует расширить. По мнению авторов приведенные в статье результаты испытаний ГПИ-2 косвенно свидетельствуют о его высоких потенциальных возможностях не только при решении задач изучения ВЧР, но и при изучении глубинных интервалов осадочного чехла методом ОГТ. В пользу такого предположения свидетельствует его высокая сейсмическая эффективность, проявленная в опытно-методических экспериментах, а также предусмотренная разработчиками возможность группирования ГПИ-2, оснащение их современной системой синхронизации возбуждения.

## Литература

1. Селезнев В.А., Живодров В.А. Принципы повышения эффективности импульсных электромагнитных сейсмоисточников малой мощности для исследования малых глубин / Приборы и системы разведочной геофизики, № 1, 2003.

2. Жуков А.П., Колесов С.В., Шехтман Г.А., Шнеерсон М.Б. Сейсморазведка с вибрационными источниками. – Тверь, ООО «Издательство ГЕРС», 2011. – 412 с

3. Михеев С.И., Мичурин А.В., Федотов С.А. Основные проблемы развития отечественных геофизических технологий и аппаратуры / Нефтесервис, 2009. №1

4. Фонберштейн Е.Г., Экомасов С.П. Процессы генерирования сейсмических волн импульсными наземными источниками. / Москва, :издательство «МТГ», 2007.

5. Фонберштейн Е.Г., Экомасов С.П. Гидропневматические источники сейсмических волн для инженерных изысканий, поисков и разведки месторождений нефти и газа/ Геофизический вестник, Москва, ЕАГО,

2011.- №6.

6. Чичинин И.С. Вибрационное излучение сейсмических волн. - М.: Недра, 1984.

7. Шнеерсон М.Б., Майоров В.В. Наземная невзрывная сейсморазведка. / Москва: 1988.

8. Экомасов С.П., Федотов С.А. Импульсный гидропневматический источник сейсмических волн / Приборы и системы разведочной геофизики, № 1, 2015.

## Подробнее об авторах



Селезнев  
Владимир Анатольевич

Главный инженер  
филиала «СГЭ»  
ФГУП «НВНИИГ»



Михеев  
Сергей Иванович

Д.г.-м.н., профессор,  
заместитель генерального  
директора  
ФГУП «НВНИИГ»



Экомасов  
Сергей Петрович

Д.т.н., профессор, главный  
научный сотрудник  
ОАО «Инженерно-техни-  
ческий центр «Силовые  
импульсные системы»



Паоло  
Барбиери

Представитель  
фирмы «RALOT»