

Новые результаты полевых испытаний импульсного гидропневматического источника сейсмических волн ГПИ-2

- Гафаров Р.М., Иванов Д. В., Ягудин И.Р., ОАО «Башнефтегеофизика», г. Уфа,
- Селезнев В.А., Михеев С.И., АО «НВНИИГГ», г. Саратов,
- Экомасов С.П., ОАО «Инженерно-технический центр «Силовые импульсные системы», г. Москва,
- Паоло Барбиери, фирма «RALOT», г. Москва

В ранее опубликованной статье [1] нами были описаны результаты опробования в полевых условиях импульсного гидропневматического источника сейсмических волн ГПИ-2 [5, 8]. Анализ этих результатов позволил констатировать высокую сейсмическую эффективность гидропневматического источника, не уступающую источнику ГСК-6М. Одновременно отмечено, что для реализации потенциальных возможностей ГПИ-2, широкого внедрения его в практику сейсмических исследований состав и содержание описанных в статье [1] опытно-методических работ (ОМР) следует расширить. В соответствии с этим зимой 2015 г. был выполнен новый цикл ОМР. Он проведен силами ОАО «БАШНЕФТЕГЕОФИЗИКА» с целью сопоставления характеристик ГПИ-2 с характеристиками других источников: электромагнитного импульсного КЭМ-4, вибрационного NOMAD-65. Помимо прочего, в задачи ОМР входила оценка возможности использования ГПИ-2 при работах МОГТ и повышения качества получаемого сейсмического материала.

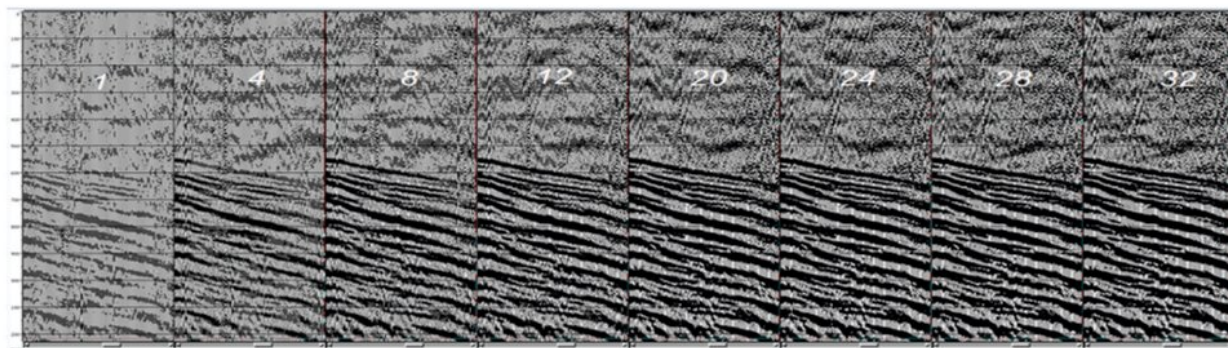
Опытные работы были выполнены на линейном профиле 2D в пределах Знаменского участка, расположенного в западной части Республики Башкортостан. В тектоническом отношении данный участок находится на территории центральной части Южно-Татарского свода. На указанном профиле с шагом 5 метров был расставлен 701 пункт приема и разными источниками отработаны волновые зондирования. Шаг пунктов возбуждения составлял 50м. Для приема упругих колебаний использовались

точечные группы сейсмоприемников (СП), установленных вокруг пунктов приема по радиусу 0.5м. С целью повышения надежности выводов о сейсмической эффективности протестированных источников прием сейсмических колебаний осуществлялся также глубинным контрольным прибором (ГКП), погруженным в скважину глубиной 40м. Скважина располагалась в центре расстановки СП.

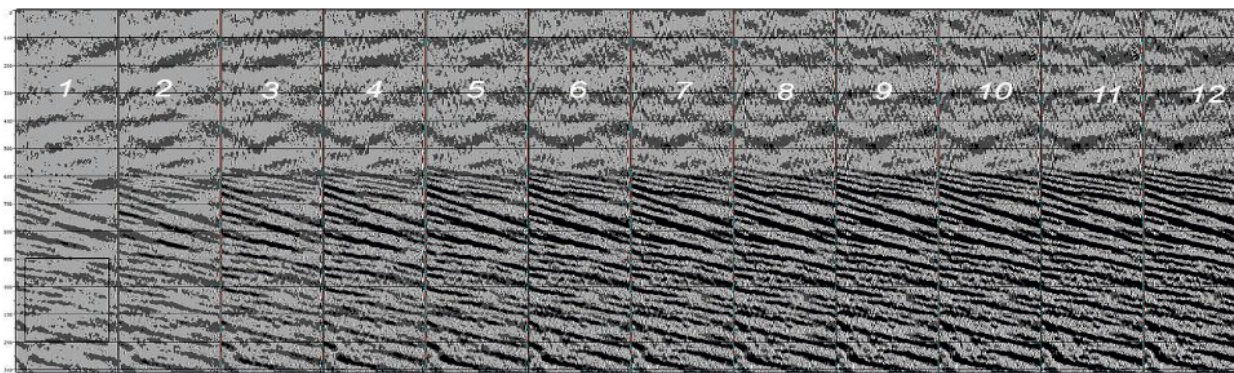
В ходе ОМР опробовалось разное количество накоплений упругих воздействий. При возбуждении сейсмических колебаний виброисточником NOMAD-65 генерировался широкополосный ЛЧМ – свип длительностью 12с. Начальная частота свипа (F_n) составляла 7 Гц, конечная частота $F_k = 140$ Гц. Для предотвращения возникновения нелинейных искажений вибратор работал с нагрузкой 60% от максимальной. Начальный и конечный тайпер свип-сигнала – 0.5с.

Регистрация данных проводилась телеметрической системой «SERCEL 428 XL» с шагом квантования по времени 0.5мс., длительность коррелограммы 3с. Корреляционное преобразование, в случае тестирования виброисточника, осуществлялось до накопления виброграмм.

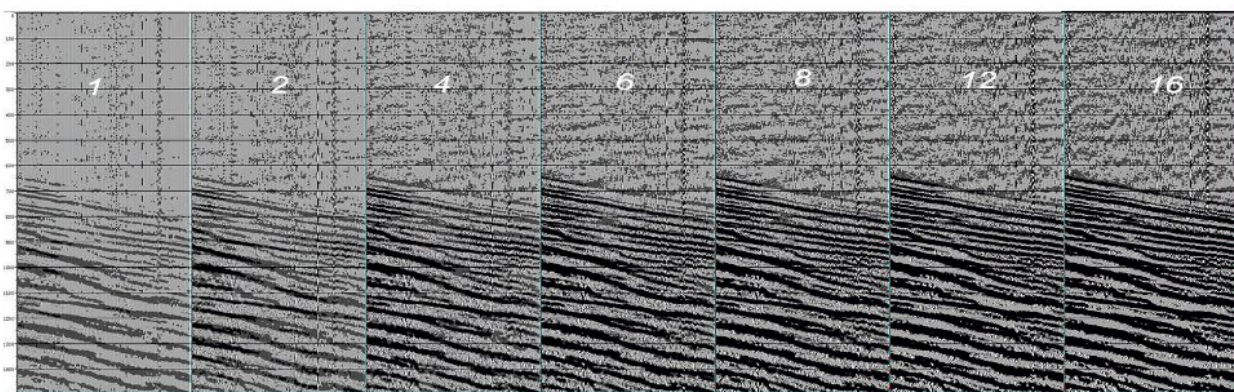
На первом этапе ОМР на трех пикетах профиля (ПВ 1001, ПВ 1351 и ПВ 1701) были отработаны серии физических наблюдений с различным количеством накоплений сейсмических воздействий (N). В качестве примеров далее приведены монтажи сейсмограмм ОПВ на ПК 1001 для источника КЭМ-4 (рис.1), ГПИ-2 (рис. 2), NOMAD-65 (рис.3).



▲ Рис. 1. Монтаж сейсмограмм ОПВ с разным количеством накоплений для источника КЭМ-4. ПВ 1001.



▲ Рис. 2. Монтаж сейсмограмм ОПВ с разным количеством накоплений для источника ГПИ-2. ПВ 1001.



▲ Рис. 3. Монтаж сейсмограмм ОПВ с разным количеством накоплений для источника NOMAD-65. ПВ 1001.

Визуальный анализ сейсмограмм на рис. 1,2,3, отвечающих одинаковому количеству накоплений, не позволяет отдать безусловного предпочтения какому либо из источников. Примечателен значительный рост качества сейсмограмм при малых N. Далее с 3-го 4-го накоплений визуально выявить происходящие изменения качества записи затруднительно. Вместе с тем, изменения

в зарегистрированных записях для протестированных источников при различном количестве накоплений есть. Об этом свидетельствует анализ осредненных значений амплитуд (A), вычисленных во временном окне записи. Наблюдаемые величины A в случае расположения пункта возбуждения на ПК 1001, сведены в таблицы 1,2,3 для источников КЭМ-4, ГПИ-2 и NOMAD-65 соответственно.

Сравнение значений A для импульсных источников КЭМ-4 и ГПИ-2 при одинаковом количестве накоплений сейсмических воздействий показывает преимущества второго. Так, при $N = 12$ наблюдаемые амплитуды, в случае применения ГПИ-2, превышают зарегистрированные амплитуды для КЭМ-4 в 1.1, 1.5 и 1.27 раз на пикетах ПК 1001, 1351 и 1701 соответственно. Близкая ситуация наблюдалась и для других пунктов возбуждения. В этом можно убедиться, проанализировав содержимое таблиц 4 и 5. В них приведены данные для источников КЭМ-4 и ГПИ-2 при расположении ПВ на ПК 1351 (таблица 4) и ПК 1701

(таблица 5). Например, на ПК 1351 при $N = 12$ наблюдаемые амплитуды, в случае применения ГПИ-2, в 1.6 раз превышают аналогичные амплитуды для КЭМ-4, на ПК 1701 – в 1.3 раза.

Отметим, что в большинстве экспериментов с накоплением сейсмических воздействий рост наблюдаемых амплитуд с высокой точностью описывался линейной моделью. Например, для источника ГПИ-2 при его расположении на ПК 1701 уравнение регрессии, связывающее наблюдаемые амплитуды с количеством накоплений записывается следующим образом:

▼ Табл. 1. Осредненные амплитуды первых вступлений волн, вычисленные по сейсмограммам ОПВ при разном количестве накоплений. Источник КЭМ-4.

ПК 1001								
Кол-во накоплений	1	4	8	12	20	24	28	32
Амплитуда	36	112	213	316	521	625	730	833
ПК 1351								
Амплитуда	31	101	206	315	531	639	753	875
ПК 1701								
Амплитуда	37	115	218	320	529	634	740	844

▼ Табл. 2. Осредненные амплитуды первых вступлений волн, вычисленные по сейсмограммам ОПВ при разном количестве накоплений. Источник ГПИ-2.

ПК 1001												
Кол-во накоплений	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Амплитуда	41	70	97	126	155	185	212	230	260	287	315	341
ПК 1351												
Амплитуда	28	100	139	183	226	265	306	342	380	417	447	487
ПК 1701												
Амплитуда	43	84	116	147	177	205	237	271	303	338	371	406

▼ Табл. 3. Осредненные амплитуды первых вступлений волн, вычисленные по сейсмограммам ОПВ при разном количестве накоплений. Источник NOMAD-65.

ПК 1001							
Кол-во накоплений	1	2	4	6	8	12	16
Амплитуда	18100000	35900000	71200000	107000000	142000000	213000000	284000000
ПК 1351							
Амплитуда	19700000	39000000	77700000	116000000	155000000	232000000	308000000
ПК 1701							
Амплитуда	18100000	34000000	67500000	102000000	135000000	200000000	267000000

$$A = 14.86 + 24.96 \cdot N.$$

Качество приближения данной регрессией значений A характеризуется относительно небольшим значением среднеквадратичной погрешности $\sigma = 4.99$. При опробовании различного вида нелинейных регрессий снизить σ более чем на 0.31 не удалось. Близкая ситуация, но, с еще меньшим выигрышем от использования нелинейных регрессий отмечена для всех проведенных экспериментов.

Для получения более полного и разностороннего представления о качестве получаемого с разными источниками сейсмического материала при его обработке помимо амплитуд вычислялись и анализировались оценки отношения сигнал/помеха (S/N). Их значения при разном количестве накоплений сейсмических воздействий приведены в уже упоминавшихся ранее таблицах 4 и 5.

Отметим, что данные по S/N , полученные для ПК 1001, не приведены по причине их практически полного совпадения с данными для ПК 1351.

Судя по содержащимся в таблицах 4 и 5 данным, источник ГПИ-2 выигрывает по сравнению с КЭМ-4 не только по наблюдаемым амплитудам, но и по оценкам отношения сигнал/помеха. К примеру, при $N = 12$ оценка S/N для ГПИ-2 превышает оценку S/N для КЭМ-4 в 1.5 раз и в 1.4 раза для ПК 1351 и ПК 1701 соответственно.

Полученные на первом этапе результаты ОМР подтвердили известную из теории и практики значительную роль строения зоны малых скоростей в формировании характеристик генерируемых упругих волн. Примером, подтверждающим данное утверждение экспериментальных исследований, может служить изложенная в работе [3] ситуация со сравнительным испытанием газодина-

▼ Табл. 4. Наблюдаемые амплитуды (A) и оценки отношения сигнал/помеха (S/N) при разном количестве накоплений (N) на ПК 1351.

Источник КЭМ											
N	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	51	75	90	125	160	180	205	230	260	290	310
S/N	1.55	2.1	2.2	2.5	2.7	2.8	2.9	3.15	3.81	4.3	5.16

Источник ГПИ											
N	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	100	140	185	220	270	300	345	386	420	450	495
S/N	4.1	3.71	4.85	5.33	5.74	5.7	5.6	6.45	6.61	7.21	7.62

▼ Табл. 5. Наблюдаемые амплитуды (A) и оценки отношения сигнал/помеха (S/N) при разном количестве накоплений (N) на ПК 1701

Источник КЭМ											
N	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	65	80	115	140	175	195	210	245	260	290	310
S/N	2.1	2.2	2.41	2.5	2.75	3.01	3.35	3.6	3.85	4.01	4.25

Источник ГПИ											
N	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	90	115	145	175	220	238	270	300	340	380	400
S/N	2.9	3.2	3.71	4.01	4.4	4.49	4.55	4.9	5.3	5.51	5.8

мических источников. Описанные в этой работе исследования показали, что в различных сейсмологических условиях оценки энергий воздействия источников ГСК-4 отличались в полтора раза, а для источников ГСК-10 — более чем в два раза. В нашем случае наблюдаемые амплитуды сейсмических сигналов и оценки отношения сигнал/помеха для разных пикетов возбуждения также значительно отличаются. Например, для источника ГПИ-2 при 12 накоплениях упругих воздействий наблюдаемая амплитуда и S/N на ПК 1351 равны 495 и 7.62 (см. табл. 4), а на ПК 1701 — 400 и 5.8 (см. табл. 5). То есть, наблюдаемые A и S/N на разных пикетах различаются в 1.24 и 1.31 раз. Еще более значительные различия в амплитудах сейсмических сигналов для разных пикетов отработки ПВ источником ГПИ-2 отражены в таблице 2.

Второй этап ОМР был посвящен отработке и анализу результатов волновых зондирований. На рис. 4 приведен монтаж временных разрезов выполненных зондирований после процедуры нормировки амплитуд для всех трех протестированных источников: ГПИ-2, КЭМ-4 и NOMAD-65.

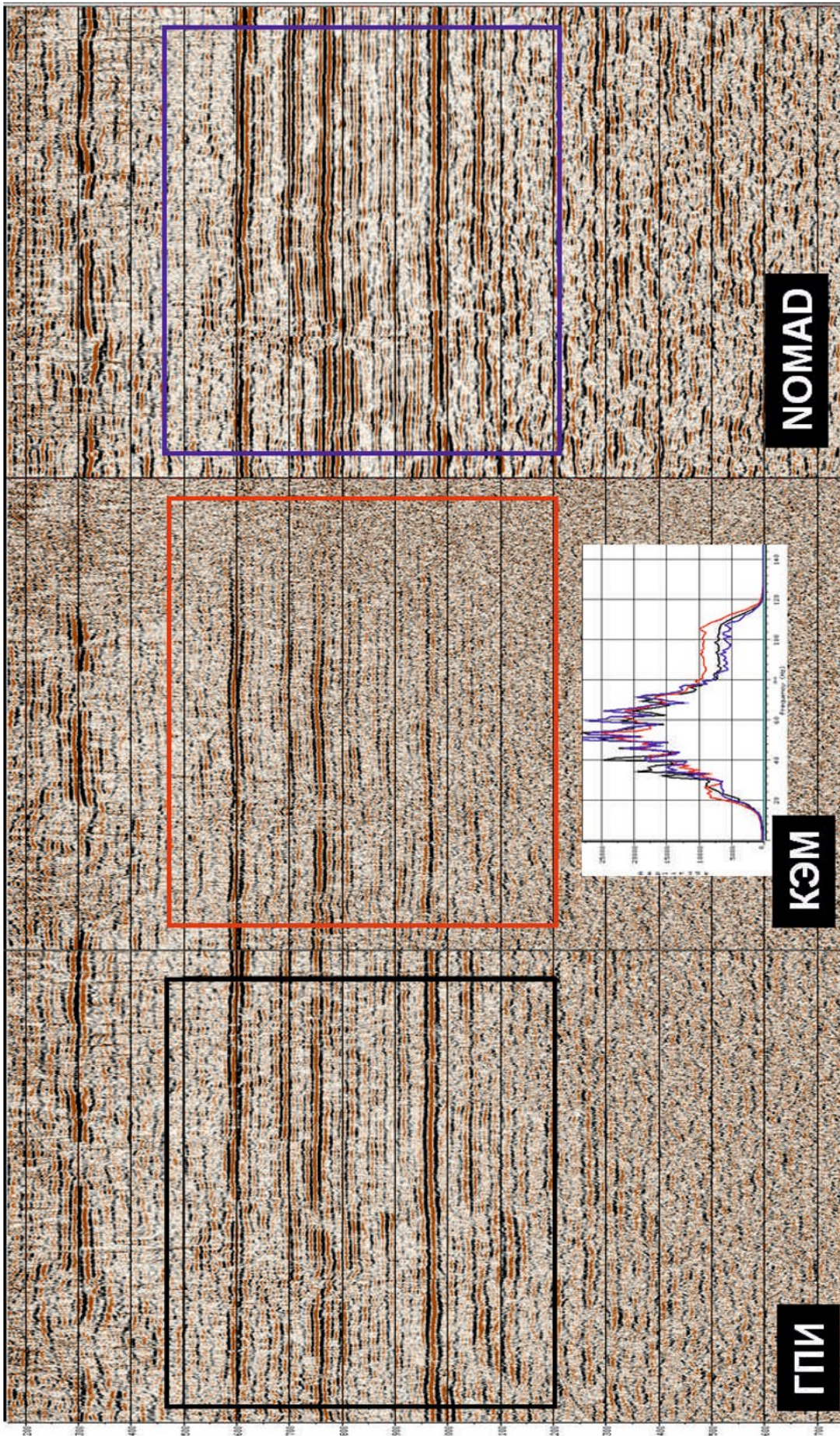
Накапливаний сейсмических воздействий в обсуждаемом случае не производилось. Визуальный анализ рис. 4 убеждает в значительно лучшей прослеживаемости отраженных волн на разрезе, соответствующем применению ГПИ-2 по сравнению с КЭМ-4. Значительно лучше также их динамическая выраженность. Разрез волнового зондирования, отвечающий варианту использования NOMAD-65, выигрывает как по прослеживаемости и динамической выраженности отраженных волн, так и по уровню нерегулярных помех у разреза для ГПИ-2. Однако, отмеченный выигрыш не столь значителен как при сравнении результатов возбуждения колебаний источника-

ми ГПИ-2 и КЭМ-4.

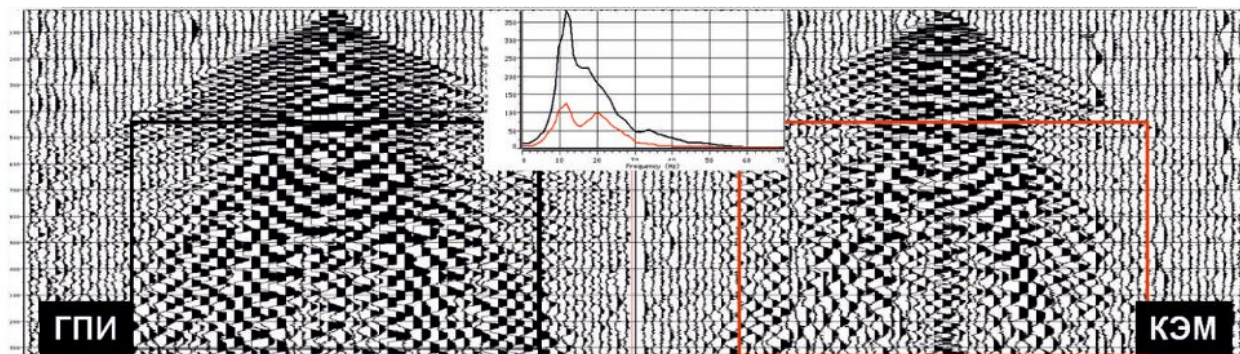
На рис. 4 показаны также нормированные по максимуму амплитудно-частотные спектры сейсмической записи. Они вычислены в выделенных на данном рисунке временных окнах и позволяют констатировать качественную схожесть частотных характеристик всех тестируемых источников. Небольшие расхождения наблюдаются лишь в высокочастотной области спектра, где, на первый взгляд, некоторое преимущество имеет КЭМ-4. Однако, в случае анализа ненормированных спектров, указанное преимущество теряется.

Рис. 5 демонстрирует монтаж сейсмограмм ОПП, записанных с помощью заглубленного сейсмоприемника GS-20DX при тестировании импульсных источников. На рисунке показаны также амплитудно-частотные спектры записи и временные окна, использованные для их вычисления.

Визуальный анализ приведенного на рис. 5 монтажа сейсмограмм позволяет сделать заключение о том, что амплитуды зарегистрированных сигналов на сейсмограмме для ГПИ-2 существенно превышают амплитуды сигналов на сейсмограмме для КЭМ-4. Инструментальный контроль показал различие максимальных амплитуд зарегистрированных сигналов на выходе сейсмоприемника для тестируемых источников почти в 2 раза. В случае возбуждения колебаний источником ГПИ-2 максимальная амплитуда составила 14.7 мкВ, в случае КЭМ-4 — 7.6 мкВ. Амплитудно-частотные спектры записей источников в целом схожи. Вместе с тем, амплитуды гармонических составляющих спектра для ГПИ-2 в два и более раза больше по сравнению с амплитудами гармоник той же частоты для КЭМ-4. Этого, исходя из отмеченного выше соотношения амплитуд во временной области и теоремы Рэйли, следовало ожидать.



▲ Рис. 4. Монтаж временных разрезов волновых зондирований после процедуры нормировки амплитуд для источников ГПИ-2, КЭМ-4 и NOMAD-65. Выделены временные окна, использованные для расчета амплитудно-частотных спектров.



▲ Рис. 5. Монтаж сейсмограмм ОПП и спектров для случая регистрации упругих колебаний заглубленным сейсμοприемником GS-20DX. Выделено временное окно, использованное для вычисления амплитудно-частотных спектров сигналов.

Обобщение полученных в ходе выполненных ОМР результатов приводит к следующим выводам:

- в условиях выполненных экспериментов источник ГПИ-2 незначительно проигрывает NOMAD-65 по соотношению сигнал/помеха. Одновременно он выигрывает по этому показателю по сравнению с КЭМ-4, обеспечивая получение лучших по динамике и прослеживаемости горизонтов на временных разрезах;

- наблюдаемые амплитуды сейсмических сигналов для КЭМ-4 и ГПИ-2 в большинстве случаев растут при увеличении количества накоплений упругих воздействий по близкому к линейному закону;

- все три протестированных источника характеризуются близким частотным составом возбуждаемых колебаний.

По мнению авторов статьи, приведенные в ней материалы свидетельствуют о хороших перспективах внедрения источника ГПИ-2 в практику геологоразведочных работ. Причем, он уже может применяться при решении задач изучения верхней части разреза и, после реализации некоторых описанных ниже дополнительных мероприятий, при изучении целевых глубинных интервалов при поисково-разведочных работах на нефть и газ. Помимо прочего, широкому внедрению в практику гидропневматического источника будет способствовать высокая

безопасность его эксплуатации. Он не требует, как в случае газодинамического источника, использования взрывоопасной смеси кислорода и пропана. Не действует, как в случае применения КЭМ-4, такой негативный производственный фактор, как опасное напряжение. Для полной реализации потенциальных возможностей данного источника в практике ГРП осталось решить несколько частных задач:

- устранить несоответствие силы удара и массы источника. Как показали выполненные в ходе ОМР полевые эксперименты, такое несоответствие может приводить к отрыву при работе плиты и передних колес автомобиля УРАЛ, на котором сейчас смонтирован ГПИ, от земли. В результате в некоторых случаях источник производит повторные спонтанные удары плитой о землю уже после отработки им рабочего воздействия на грунт;

- завершить работы по отладке синхронизации запуска ГПИ и сейсмостанции с применением известных систем синхронизации (SGD, CCB и т.д.);

- применению ГПИ-2 с задачами поиска и разведки месторождений нефти и газа предпослать сравнительную оценку производительности полевых работ с гидропневматическим и вибрационным источником. Возможно, что ГПИ-2 будет более производителен по

сравнению с вибратором, обеспечивая схожее качество сейсмического материала. В пользу такого предположения свидетельствует то обстоятельство, что за время отработки одного накопления вибратором (в рассмотренном случае длина свипа - 12 с., запись - 3с, задержка - 1 с.) можно отработать около четырех накоплений ГПИ-2 (запись - 3 с., задержка - 1 с.).

Литература

1. Селезнев В.А., Михеев С.И., Экомасов С.П., Паоло Барбиери. Сравнительные полевые испытания импульсного гидропневматического источника сейсмических волн ГПИ-2 / Приборы и системы разведочной геофизики, №2(52)/2015.
2. Михеев С.И., Мичурин А.В., Федотов С.А. Основные проблемы развития отечественных геофизических технологий и аппаратуры / Нефтесервис, 2009. №1
3. Фонберштейн Е.Г., Экомасов С.П. Процессы генерирования сейсмических волн импульсными наземными источниками / Москва: издательство «МТГ», 2007.
4. 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.

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

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

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Журнал «Приборы и системы разведочной геофизики» является единственным тематическим периодическим изданием в современной России, освещающим актуальные проблемы геофизического приборостроения.

С 2015 г. журнал «Приборы и системы разведочной геофизики» входит в список ведущих периодических изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Минобрнауки России для публикации основных научных результатов **диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук**.

Рецензирование рукописей, поступающих в редакцию, в том числе обязательное для соискателей ученой степени, позволяет поддерживать высокий уровень публикаций.

С каждым годом расширяется география публикаций. С нами сотрудничают авторы более чем из 40 городов Российской Федерации, а также из Украины, Белоруссии, Азербайджана, США, Франции, Китая.

Журнал ориентирован на широкий круг представителей геофизического сообщества. Поэтому рекламодатели, размещающие рекламу своей продукции и услуг на страницах нашего журнала, могут быть уверены в том, что она привлечет внимание представителей целевой аудитории и, как следствие, приведет к развитию бизнеса (увеличению продаж товаров или услуг).

Мы открыты к сотрудничеству!