

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра Геофизики

**«Анализ результатов полевых испытаний импульсного
гидропневматического источника сейсмических волн ГПИ-2**

АВТОРЕФЕРАТ ДИПЛОМНОЙ РАБОТЫ

Студента 6 курса 631 группы 020302 специальности Геофизика

Геологического факультета

_____Бурченкова Алексея Юрьевича

Научный руководитель
Д.г.-м.н., профессор

С.И.Михеев

дата, подпись

Заведующий кафедрой
__К.г.-м.н., доцент

_____Е.Н.Волкова

дата, подпись

Саратов 2016

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая выпускная работа посвящена современным технологиям возбуждения сейсмических волн. На настоящий момент разработано очень большое количество различных методов и источников возбуждения сейсмических волн. Среди них сейчас преобладают невзрывные, в первую очередь, вибрационные источники, отличающиеся безопасной эксплуатацией и расширенными возможностями контроля излучаемых сигналов. Они показали свою высокую геологическую и экономическую эффективность при решении нефтегазопромысловых задач, хорошо обоснованы теоретически и экспериментально. Но, проблема разработки новых, еще более безопасных и эффективных сейсмических источников остается весьма актуальной. Так, уже отмеченный выше, вибрационный источник зачастую проигрывает импульсным из-за наличия так называемых корреляционных шумов. Кроме того, импульсные невзрывные источники оказываются при решении некоторых задач, по сравнению с вибрационными, более эффективными. К таким задачам, относится изучение верхней части разреза. Однако, заменить в практике геологоразведочных работ вибрационные источники импульсными не удастся из-за их относительно низкой энергии возбуждаемых сейсмических импульсов. Исключением являются газодинамические источники, но, они требуют большого количества расходуемых материалов (кислорода и бутана), что трудно обеспечить в полевых условиях.

Три года тому назад ОАО «Инженерно-технический центр «Силовые импульсные системы», а также фирмой «RALOT» (г.Москва) был разработан новый импульсный гидропневматический источник сейсмических волн ГПИ-2, который по мнению разработчиков, способен заменить вибрационные установки.

Для выполнения потенциальных возможностей гидропневматического источника, широкого внедрения его в практику сейсмических исследований в

АО НВНИИГГ, где я проходил 2-ю предквалификационную практику, были выполнены первые полевые опытно-методические работы по изучению сейсмической эффективности ГПИ-2.

Цель квалификационной работы заключалась в сравнительной оценке характеристик и возможностей ГПИ-2 по сравнению с другими невзрывными источниками, нашедшими относительно широкое применение в практике геологоразведочных работ (в первую очередь, при изучении верхней части разреза). Для достижения поставленной цели перед автором были поставлены следующие частные задачи:

- сделать обзор современных технологий возбуждения сейсмических волн;
- проанализировать на качественном (визуальный анализ волновых полей) наблюдаемых и количественном (анализ количественных оценок качества сейсмического материала) уровнях результаты сравнительных полевых испытаний импульсного гидропневматического источника сейсмических волн ГПИ-2.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В разделе 1 «Современные технологии возбуждения сейсмических волн»
приведено описание методов возбуждения сейсмических волн.**

Источник разработан ОАО «Инженерно-технический центр «Силовые импульсные системы», а также фирмой «RALOT» (г.Москва) в 2014-2015г.г. Основным элементом его конструкции является гидропневматическая камера, использующая в качестве рабочего тела сжатый воздух. Камера отличается простотой конструкции, характеризуется высокой надежностью. Воздух в источнике сжимается с помощью гидронасоса, смонтированного на валу отбора мощности базовой машины [5]. 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. Источник сейсмических волн ГПИ-2 смонтирован на автомобиле УРАЛ-4320. Модульное исполнение силового блока позволяет с минимальными затратами времени и технических средств перенавесить его на любое транспортное средство необходимой грузоподъемности.

Основной характеристикой импульсного источника, определяющей в основном его сейсмическую эффективность является силовой импульс генерируемый на контакте штампа с грунтовым полупространством. Амплитуда импульса характеризует глубину прохождения сейсмической волны, а крутизна переднего фронта импульса- частотный спектр волны [5].

По крутизне переднего фронта импульсы гидропневматических источников аналогичны импульсам, генерируемых на стенде известным

газодинамическим источникам ГСК-6М. По показателю эффективности (отношению суммарного усилия в ударном импульсе к массе установки) гидропневматические источники практически не уступают газодинамическим и предпочтительнее по сравнению с другими типами установок.

Импульсный гидропневматический источник сейсмических волн ГПИ-2 разработан ОАО «Инженерно-технический центр «Силовые импульсные системы» и фирмой «RALOT» г.Москва. Его технические характеристики [1, 2]:

- 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» предназначен для поисков и разведки месторождений нефти и газа.

В разделе 2 «Устройство, принцип работы и технические характеристики импульсного гидропневматического источника сейсмических волн ГПИ-2» проанализированы и схематично показаны принцип работы и характеристики ГПИ-2.

Модульное исполнение силового блока позволяет с минимальными затратами времени и технических средств перенавесить его на любое транспортное средство необходимой грузоподъемности.

Исполнительным органом источника является гидропневматическая камера, использующая в качестве рабочего тела сжатый воздух. Порция воздуха сжимается в рабочем цикле источника с помощью гидравлической энергии (используется гидронасос, смонтированный 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 (истечение воздуха в атмосферу исключено) для совершения рабочих циклов повышает КПД источника примерно вдвое по сравнению с пневматическими и газодинамическими генераторами. Эксплуатация гидропневматических источников не требует использования дополнительных энергоносителей, кроме топлива, потребляемого двигателем базовой машины. Этим достигается по сравнению с известными генераторами упругих волн более высокая автономность. Источник прост в эксплуатации и надежен в работе. Он генерирует волны более высокой частоты по сравнению с пневматическими, газодинамическими и электромагнитными источниками.

Основной характеристикой импульсного источника, определяющей в основном, его сейсмическую эффективность, является силовой импульс, генерируемый на контакте штампа с грунтовым полупространством.

Амплитуда импульса характеризует глубину прохождения сейсмической волны, а крутизна переднего фронта импульса — частотный спектр волны. Регистрация импульсов осуществлялась на стенде по методике ОАО «ИТЦ «СИС» с датчиком параметров удара, обладающего жёсткостью 300 МН/м.

По крутизне переднего фронта импульсы гидропневматических источников аналогичны импульсам, генерируемым на стенде известным газодинамическим источником ГСК-6М. По показателю эффективности (отношению суммарного усилия в ударном импульсе к массе установки) гидропневматические источники практически не уступают газодинамическим) и предпочтительнее по сравнению с другими типами установок. Как уже отмечалось, материалы для написания выпускной работы собраны в АО «НВНИИГГ» в филиале данного предприятия - Саратовской Геофизической Экспедиции (СГЭ АО «НВНИИГГ») проводящие активные работы по испытанию новых источников упругих колебаний.

В третьем разделе» Результаты полевых испытаний ГПИ-2 в пределах Алтатинско-Ершовской зоны Саратовской области» описана методика полевых работ а также показаны сравнительные характеристики источника ГПИ-2 с газодинамическим источником ГСК-6М. В 2015 году, был опробован импульсный гидропневматический источник сейсмических волн ГПИ-2. Для более полного представления о потенциальных возможностях данного источника при производстве сейсморазведочных работ предпошлием обсуждению полученных результатов его опробования данные сравнительного испытания других источников.

Проделанные 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).

Для исключения влияния субъективного фактора результаты визуального сопоставления качества полученных с разными источниками волновых полей были дополнены вычислением и анализом различных количественных атрибутов сейсмической записи [6]. В нашем случае определялись максимальные и среднеквадратичные значения амплитуд в окне, отвечающем времени регистрации первых вступлений, а также спектральные характеристики сейсмической записи для того же временного окна. Если посмотреть на оценки наблюдаемых максимальных и среднеквадратичных амплитуд преломленных волн, источник ГПИ-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 ГПИ-2 колебаний отличается хоть и незначительной, но повышенной энергией

высокочастотных гармоник по сравнению со спектром для ГСК-6М. Это позволяет ожидать некоторое повышение разрешенности получаемых в случае применения гидропневматического источника сейсмических данных. Одновременно в ряде случаев, при применении ГПИ-2 наблюдается усложнение формы спектра. Так, спектр колебаний, возбужденных ГПИ-2, можно охарактеризовать 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 [5].

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

- испытания показали высокую сейсмическую эффективность источника ГПИ-2, не уступающую источнику ГСК-6М;
- источник ГПИ-2 обеспечивает получение высококачественного сейсмического материала при малоглубинных зондированиях МПВ;
- высокая сейсмическая эффективность, хорошие показатели КПД, удовлетворение высоким требованиям экологической безопасности, наряду с простотой эксплуатации дает объективные основания рекомендовать внедрение ГПИ-2 в практику геологоразведочных работ кроме того, 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 используемых при проведении сейсморазведочных работ транспортных средств, технического персонала, а также для снижения затрат на ГСМ.

Для выполнения потенциальных возможностей гидропневматического источника, широкого внедрения его в практику сейсмических исследований состав и содержание выполненных опытно-методических работ следует расширить. С точки зрения 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 [6].

Раздел 4» Результаты полевых испытаний ГПИ-2 в пределах Знаменского участка Республики Башкортостан» содержит анализ результатов сравнительных испытаний источника ГПИ-2 с электромагнитным импульсным источником КЭМ-4 и вибрационным NOMAD-65. В предыдущем разделе были описаны результаты опробования в полевых условиях импульсного гидропневматического источника сейсмических волн ГПИ-2 на территории Саратовской области [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 с 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 скважине глубиной 40м. Скважина располагалась в центре расстановки СП.

Как и ожидалось, протестированные импульсные источники весьма значительно уступили вибрационному по наблюдаемым амплитудам. Сравнение значений 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 них приведены данные для источников КЭМ-4 и ГПИ-2 при расположении ПВ на ПК 1351 и ПК 1701. 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.

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) [8]. 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 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 [9]. Примером, подтверждающим данное утверждение экспериментальных исследований, может служить изложенная в работе [3] ситуация со сравнительным

испытанием газодинамических источников. Описанные в этой работе исследования показали, что в различных сейсмологических условиях энергия воздействия источников КЭМ-4 отличалась в полтора раза, а 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 а на ПК 1701 – 400 и 5.8. 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 обработки ПВ источником ГПИ-2.

Второй этап ОМР был посвящен обработке и анализу результатов волновых зондирований.

Как показывает, визуальный анализ 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 сейсμοприемника 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.

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

- в условиях выполненных экспериментов источник ГПИ-2 значительно проигрывает NOMAD-65 по амплитуде возбуждаемых колебаний.

Одновременно он выигрывает по этому показателю по сравнению с КЭМ-4, обеспечивая получение лучших по динамике и прослеживаемости горизонтов временных разрезов;

- 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 [5].

По моему мнению приведенные в дипломной работе материалы свидетельствуют о хороших перспективах внедрения источника ГПИ 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. Для полной реализации потенциальных возможностей данного источника в практике ГРР 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, ССВ и т.д.);

- применению ГПИ-2 с задачами поиска и разведки месторождений нефти и газа предпослать сравнительную оценку производительности полевых работ с импульсным гидropневматическим 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.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поставленная перед дипломной работой цель, заключающаяся в сравнительной оценке характеристик и возможностей ГПИ-2 по сравнению с другими невзрывными источниками, нашедшими относительно широкое применение в практике геологоразведочных работ (в первую очередь, при изучении верхней части разреза), была достигнута.

Для достижения поставленной цели автором решены следующие частные задачи:

сделать обзор современных технологий возбуждения сейсмических волн;

проанализировать на качественном (визуальный анализ волновых полей) наблюдаемых и количественном (анализ количественных оценок качества сейсмического материала) уровнях результаты сравнительных полевых испытаний импульсного гидропневматического источника сейсмических волн ГПИ-2.

Анализ всех полученных результатов полевых испытаний импульсного гидропневматического источника сейсмических волн ГПИ-2 приводит к следующим выводам:

источник ГПИ-2 имеет высокую сейсмическую эффективность, не уступающую источнику ГСК-6М;

источник ГПИ-2 позволяет получить высококачественный сейсмический материал при малоглубинных зондированиях;

ГПИ-2 отличается высокой сейсмической эффективностью, хорошим коэффициентом полезного действия, экологической безопасностью, простотой конструкции и эксплуатации;

приведенные в выпускной работе результаты испытаний ГПИ-2 показывают его высокие потенциальные способности не только при изучении ВЧР, но и при изучении глубинных интервалов осадочного чехла методом ОГТ, что даёт объективные основания внедрить ГПИ-2 в

практику геологоразведочных работ.