

Перспективные направления дальнейшего развития ЗАО «ГЕОСВИП»

■ Кострыгин Ю.П., ООО «Новоросморгео», г. Новороссийск

В Российской Федерации разработкой и организацией производства вибросейсмических комплексов занимается компания ЗАО «ГЕОСВИП». Вибраторы, созданные в ЗАО «ГЕОСВИП», успешно применялись и применяются в пределах континентальной части Арктики и в других районах Крайнего Севера, в Европейской части России, на площадях Западной и Восточной Сибири, на Дальнем Востоке, в странах СНГ, а также в Финляндии, Монголии, Турции, Индии, Индонезии. И в этом безусловный успех ЗАО «ГЕОСВИП», основной вклад в развитие которого внесли: Асан-Джалалов А.Г., Алелюхин Н.П., Насыбулин Е.Х., Оменцов Ф.И., Алелюхин Р.Н., Асан-Джалалов О.А., Шевчук Л.Е., Певнев И.И., Таланов В.А., Циммерман В.В.

По техническим параметрам разработанные в Российской Федерации вибраторы, в основном, не уступают, а по ряду параметров и превосходят лучшие зарубежные аналоги [4]. Так, в таблице 1 сопоставлены технические характеристики российского вибратора СВ-30/150Б «Русич» и одного из наиболее популярных зарубежных вибраторов Nomad-65, производимого компанией Sercel (Франция).

Из таблицы 1, например, видно, что инерционная масса, используемая в колебательной системе СВ-30/150Б, примерно на 300 кг легче по сравнению с

инерционной массой вибратора Nomad-65. И это обстоятельство, в соответствии с известными теоретическими представлениями [4], обеспечивает для российского вибратора возможность более качественной отработки высокочастотных гармоник возбуждаемых колебаний. Вместе с тем, вибратор СВ-30/150Б характеризуется несколько большими значениями максимального хода реактивной массы и развиваемых номинальных динамических усилий по сравнению с аналогичными параметрами вибратора Nomad-65. В этой связи даже с учётом более утяжелённой инерционной массы вибратора Nomad-65, минимальная рабочая частота $F_{\min}$ для СВ-30/150Б, рассчитанная с использованием известной формулы (1), не отличается от минимальной рабочей частоты вибратора Nomad-65 и равна $\approx 6,7$ Гц. Т.е. и в области предельно низких частот российский вибратор не уступает Nomad-65.

$$F_{\min} = (1/\pi)(F_{g,\max}/2 \cdot Z_{i,\max} \cdot m_i)^{1/2}, \quad (1)$$

где $F_{g,\max}$ – номинальное толкающее усилие, $Z_{i,\max}$ и m_i – соответственно, максимальный ход и величина реактивной массы [4].

К весьма значимым преимуществам излучателя СВ-30/150Б, достаточно важным в практической работе, можно также отнести следующее:

- габариты установки при использовании шин размером 23,5-25 позволяют

▼ Табл. 1.

Тип вибратора	Шасси	Толкающее усилие, кН	Реактивная масса, кг	Усилие прижима, кН	Макс. смещение реактивной массы, мм	Масса опорной плиты, кг	Площадь опорной плиты, м ²
СВ-30/150Б	БАГГИ 4х4	300,6	3798	284,4	88	1936	2,5
Nomad-65	БАГГИ 4х4	276	4100	278	76,2	1577	2,62

свободно перемещаться по дорогам общего пользования без получения специальных разрешений.

- максимальная скорость перемещения вибратора СВ-30/150Б существенно превосходит значения аналогичного параметра для лучших зарубежных колёсных вибросейсмических установок. Так, если для американского источника АНВ-IVTM (PLS-362) и французского NOMAD-65 максимальная скорость движения равна соответственно 26 км/ч и 28 км/ч, то для СВ-30/150Б она равна 38 км/ч.

Следует обратить также внимание и на то обстоятельство, что практически все колёсные отечественные вибраторы, спроектированные с учётом сложных поверхностных условий России, превосходят по проходимости зарубежные колёсные вибраторы.

Таким образом, технические возможности, заложенные в отечественных вибраторах, в основном, не уступают возможностям зарубежных вибраторов. Однако при этом реальные коммерческие успехи ЗАО «ГЕОСВИП» несоизмеримо более скромные по сравнению с коммерческими результатами ведущих западных компаний – производителей сейсмических вибраторов. Так, например, к августу 2013 г. компанией Sercel было изготовлено и продано в 30 различных странах 886 вибраторов Nomad-65 [1]. При этом 269 вибраторов приобрели геофизические организации России и стран СНГ, что на 35 шт. превышает число вибросейсмических источников, произведённых к этому времени ЗАО «ГЕОСВИП» за всё время существования предприятия.

И здесь важно отметить, что популярность и коммерческий интерес к вибраторам Nomad-65 в значительной степени сформировались в связи с тем, что

разработку новых вибросейсмических комплексов, включающих излучатель, систему управления к нему, а также регистрирующую систему, компания Sercel осуществляет, в отличие от ЗАО «ГЕОСВИП», в тесном контакте с ведущими геофизическими компаниями, например, такими как «Шлюмберже», что позволяет при создании вибросейсмических комплексов ориентироваться на реализацию самых современных технологий, связанных с проведением сейсмических исследований. Именно поэтому в течение последнего десятилетия опробование и внедрение в производство передовых и весьма эффективных методических приёмов вибросейсмической разведки в первую очередь было связано с вибраторами Nomad-65 [1, 5, 6, 7].

Так, применение вибраторов Nomad-65 совместно с системой управления VE432 позволило многократно повысить производительность вибросейсмических наблюдений путём применения способов flip-flop и slip-sweep. А это, в свою очередь, обеспечило возможность практической реализации широкоазимутальных вибросейсмических съёмок с повышенной плотностью пунктов возбуждения [7].

В дальнейшем совместное использование вибраторов Nomad-65, системы управления VE464 и глобальных навигационных спутниковых систем обеспечило реализацию способа ISS (Independent Simultaneous Sweeping), при котором каждый вибратор может начинать работу по достижении той или иной точки без специальных команд с сейсмостанции. Такой способ позволяет при вибросейсмических наблюдениях одновременно применять большое количество групп излучателей и таким образом существенно повышать производительность работ [6].

И, наконец, совместное использование вибраторов Nomad-65, системы управления VE464 и программного обеспечения «CheckSweep» обеспечило возможность применения способа, получившего название *maximum displacement sweep* (сweep максимального смещения) и позволившего возбуждать вибросейсмические сигналы с минимальной частотой развёртки от 2 - 3 Гц [1].

Учитывая опыт компании Sercel, повышению имиджа и коммерческой эффективности ЗАО «ГЕОСВИП», безусловно, способствовало бы привлечение к работе по развитию вибросейсмических комплексов ведущих учёных-геофизиков. Весьма уместной была бы также модернизация системы управления, разработанной ЗАО «ГЕОСВИП», которая обеспечила бы технологичное использование современных методических приёмов *flip-flop*, *slip-sweep*, *ISS*.

К сожалению, в настоящее время в России практически нет крупных геофизических предприятий с высоким научным потенциалом. Однако, понимая необходимость кооперации с геофизическим сообществом, руководство ЗАО «ГЕОСВИП» не исключает возможность проведения совместных работ и с малыми предприятиями, в состав которых входят ведущие учёные, занимающиеся вибросейсмическими исследованиями. Так, чрезвычайно перспективная работа, заключающаяся в разработке системы управления, обеспечивающей возможность практической реализации адаптивной вибросейсморазведки, была проведена ЗАО «ГЕОСВИП» совместно с российским предприятием ООО «Геофизические системы данных», руководимым доктором технических наук А.П. Жуковым, внёсшим серьёзный вклад в развитие вибросейсмического метода.

Основная задача, стоящая перед

адаптивной вибросейсморазведкой, заключается в компенсации вдоль профиля или по площади возможных изменений совокупных амплитудно-частотных характеристик системы вибратор - грунт и геологической среды, расположенной выше целевых горизонтов [2]. На основании решения такой задачи представляется возможным в значительной степени выровнять динамику целевых отражений, регистрируемых в пределах исследуемой площади, и таким образом сформировать более равномерные интерференционные системы на больших базах, которые, как известно, обеспечивают более высокое отношение сигнал/помеха и более качественное прослеживание исследуемых горизонтов.

Так, на рис. 1 сопоставлены временные разрезы, полученные на основании исследований, проведённых на Южно-Русском месторождении с применением (а) ЛЧМ-сигнала, (б) нелинейной логарифмической развёртки (0,22 дБ/Гц), а также (в) по технологии адаптивной вибросейсморазведки. Из рисунка можно видеть, что переход от ЛЧМ-сигнала к нелинейной развёртке обеспечил некоторое улучшение динамики регистрируемых колебаний. Однако, качество прослеживания целого ряда отражений в интервале 0,5-2,0 с оставалось крайне низким. И лишь применение адаптивной сейсморазведки позволило существенно улучшить прослеживаемость отражений.

Компенсация возможных изменений совокупных частотных характеристик в результате применения адаптивной вибросейсморазведки, позволяет также снизить фоновый уровень аномалий, не связанных с целевыми отложениями, повысить относительный вес полезных динамических аномалий и таким обра-

▼ Табл. 2.

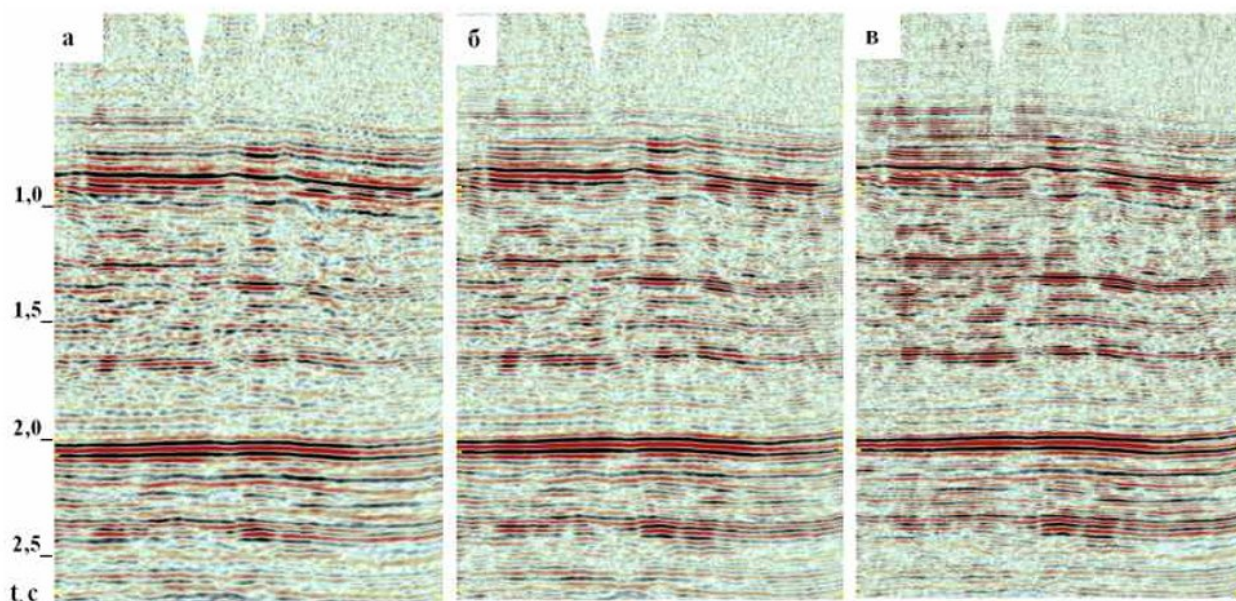
Тип вибратор	Шасси	Макс. толкающее усилие, кН	Реактивная масса, кг	Полезный ход поршня, мм	Площадь опорной плиты, м ²	Площадь поршня, см ²	Полная масса, кг
AHV-IV TM COMMANDER (PLS-364)	БАГГИ 4×4	275	4998	98,3	2,5	132,9	29937
AHV-V TM RENEGADE	БАГГИ 4×4	356	5910	101,6	2,5	167,2	37300

зом обеспечить более высокую эффективность поиска углеводородов с использованием атрибутивного динамического анализа.

Различные модификации адаптивной вибросейсморазведки, реализуемые с применением системы управления, разработанной ЗАО «ГЕОСВИП» совместно с ООО «Геофизические системы данных», в настоящее время внедряются не только в Российской Федерации, но и в Китае, а также в республиках Средней Азии. И очевидно, что при грамотном менеджменте такая работа может значительно повысить авторитет, а значит и коммерческие преимущества продукции ЗАО «ГЕОСВИП».

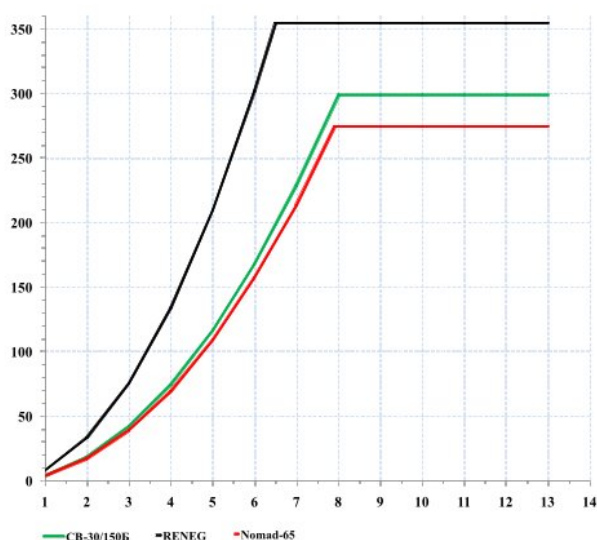
Наиболее высокой геологической эффективностью на данный момент характеризуются вибросейсмические излучатели AHV-IVTM COMMANDER (PLS-364) и AHV-IVTM RENEGADE, производимые в США компанией INOVA. По некоторым весьма значимым параметрам эти вибраторы превосходят наиболее востребованные вибраторы, разработанные ЗАО «ГЕОСВИП». Основные технические характеристики указанных вибраторов приведены в таблице №2.

Согласно формуле (1) минимальные рабочие частоты для данных вибраторов равны соответственно 5,3 Гц и 5,5 Гц, т.е. на 1,4 -1,2 Гц ниже аналогичных параметров для излучателей СВ-30/150Б и



▲ Рис. 1. Временные разрезы, полученные в условиях Южно-Русского месторождения ($\Delta F = 6 - 80$ Гц): а – ЛЧМ-развёртка; б – логарифмическая развёртка (0,22 дБ/Гц); в – адаптивная вибросейсморазведка; заданный уровень шума 20%. (Материалы предоставлены А.П.Жуковым)

Nomad-65. Это достаточно серьёзное преимущество американских вибраторов, т.к. практика показывает, что даже уменьшение минимальной частоты развёртки на 1-2 Гц позволяет во многих случаях несколько улучшить динамику полезных отражений и снизить мешающее влияние корреляционного фона [4]. Более того, в связи с относительно низкими значениями минимальных рабочих частот при использовании таких вибраторов представляется возможным более эффективное применение способа maximum displacement sweep [1]. Так, на рис. 2 приведены расчётные графики максимально возможных динамических усилий на грунт для различных типов вибраторов в области предельно низких частот [4]. Из рис. 2 очевидно, что при возбуждении колебаний с соблюдением амплитудных графиков, представленных на рис. 2, применение вибратора ANHV-IVTM RENEGADE позволит более достоверно восстановить сигналы в области пониженных частот путём использова-



▲ Рис. 2. Максимально возможные динамические усилия на грунт, развиваемые различными типами вибраторов в зависимости от частоты колебаний A, B, C – точки, ограничивающие область номинальных динамических усилий.

ния нелинейных развёрток и процедуры деконволюции.

Более высокая эффективность вибратора ANHV-IVTM RENEGADE по сравнению с излучателями других фирм связана также с повышенным значением номинального усилия, равным 356 кН, что позволяет повысить глубинность вибросейсмических исследований и улучшить динамику формируемых колебаний.

Основные характеристики источника ANHV-IVTM RENEGADE, определяющие его наиболее значимые преимущества, безусловно, должны быть приняты во внимание специалистами ЗАО «ГЕОСВИП» при разработке новых моделей вибраторов.

Успех компании INOVA в создании эффективных и весьма востребованных геофизиками вибросейсмических источников в значительной степени связан с тем, что работы по проектированию новых излучателей в компании, как правило, сопровождаются проведением серьёзных научно-исследовательских работ, направленных на повышение качества вибраторов [3]. Так, даже для наиболее мощных вибраторов, разработанных компанией INOVA, максимальная рабочая частота равна 250 Гц, что само по себе является серьёзным достижением. Действительно, вследствие неабсолютной жёсткости опорная плита подвержена, так называемым, изгибным вибрациям, относительная амплитуда которых возрастает по мере увеличения частоты колебаний и шероховатости грунта. Такие вибрации могут существенно повышать уровень нелинейной реакции грунта и вносить искажения в расчётные значения «форс-сигнала», полученного путём взвешенного суммирования ускорений опорной плиты и инерционного груза. На основании исследований, проведённых в компании INOVA, для

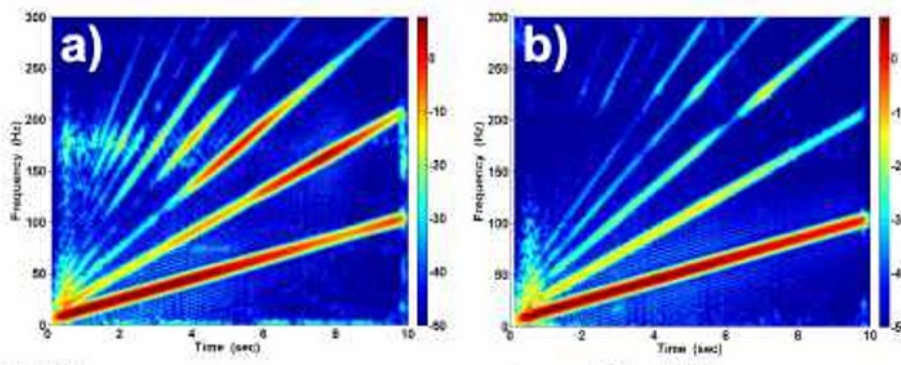


Рис. 3. Частотно-временное представление усилия на грунт, измеренного датчиком при использовании стандартного вибратора ANV-IV (a) и модернизированного вибратора ANV-IV (б)

вибраторов типа ANV-IV была разработана опорная плита повышенной жёсткости. При этом величина массы плиты осталась практически без изменения.

Следует также отметить, что в результате усложнения характера колебательного процесса опорной плиты при возбуждении высокочастотных сигналов в условиях шероховатого грунта происходит формирование турбулентных потоков в гидравлической системе вибратора, что в свою очередь приводит к нестабильности работы сервоклапана. Для снижения возникающих в таких случаях флуктуаций давления компания INOVA внесла на основании проведённых исследований некоторые дополнительные изменения в конструкцию возбуждителя вибраций, заключающиеся в применении более коротких линий подачи масла в силовой гидроцилиндр и улучшении характеристик гидропневмоаккумуляторов [3].

Проведённая модернизация возбуждителя вибраций излучателей типа ANV-IV позволила заметно снизить в возбуждаемых колебаниях вес кратных гармоник и в целом повысить эффективность работы сейсмического вибратора. Так, на рис. 3 приведены частотно-временные представления усилия на грунт, развиваемые стандартным и модернизированным вибраторами ANV-IV и измеренные датчиком силы. В качестве управляющего сигнала была выбрана ЛЧМ-развёртка

с частотным диапазоном $\Delta F = 5 - 105$ Гц длительностью $T = 10$ с. Усилие, развиваемое вибратором, равнялось 70% от номинального.

Из рис. 3 можно видеть, что в результате модернизации вибратора ANV-IV, заключающейся в использовании более жёсткой опорной плиты, более совершенного гидропневмоаккумулятора и в применении более коротких линий подачи масла в силовой гидроцилиндр, удалось весьма существенно снизить уровень кратных гармоник в области средних и высоких частот. Таким образом, на примере компании INOVA можно утверждать, что в настоящее время создание эффективных вибросейсмических установок, отвечающих современным требованиям и являющихся конкурентоспособными, представляется возможным исключительно при условии, что разработка вибраторов включает и проведение серьёзных научных исследований. И это правило, безусловно, должно восприниматься специалистами ЗАО «ГЕОСВИП» в качестве аксиомы.

Эффективность вибросейсмического метода определяется, как известно, высокой помехоустойчивостью по отношению к некогерентным помехам и возможностью гибкого варьирования спектром возбуждаемых колебаний. Вместе с тем, себестоимость серийных гидравлических вибраторов, применяемых для возбуждения квазигармоничес-

ких колебаний, достигает в настоящее время 500 – 700 и более тысяч долларов, что обуславливает для многих геофизических предприятий серьёзные экономические проблемы. В этой связи чрезвычайно актуальным становится вопрос о развитии и внедрении в производство кодоимпульсного метода сейсмической разведки, являющегося наиболее значимой альтернативой вибросейсмическому методу, характеризующегося практически такой же помехоустойчивостью, как и вибросейсмический метод, однако использующего излучатели колебаний с относительно низкой себестоимостью. Более того, актуальность развития кодоимпульсного способа сейсмической разведки в настоящее время в значительной степени возрастает в связи с санкциями, установленными к Российской Федерации западными странами и необходимостью решения проблемы импортозамещения, поскольку ряд достаточно сложных элементов отечественных вибраторов производится за рубежом.

В работе [4] показано, что при оптимальном выборе параметров кодовых функций кодоимпульсный способ сейсмической разведки не уступает по эффективности стандартным модификациям вибросейсмических исследований. Таким образом, участие ЗАО «ГЕОСВИП» в создании и производстве кодоимпульсных источников сейсмических колебаний могло бы также составить серьёзную перспективу развития предприятия.

Заключение

1. По техническим параметрам вибраторы, разработанные в Российской Федерации, в основном, не уступают, а по ряду параметров и превосходят многие достаточно востребованные зарубежные аналоги. Однако при этом реальные коммерческие успехи ЗАО «ГЕОСВИП» несоизмеримо более скромные

по сравнению с коммерческими результатами ведущих западных фирм – производителей сейсмических вибраторов.

2. Высокая популярность и коммерческий интерес, например, к вибраторам Nomad-65, в значительной степени сформировались в связи с тем, что разработку новых вибросейсмических комплексов компания - производитель Sercel осуществляет, в отличие от ЗАО «ГЕОСВИП», в более тесном контакте с ведущими геофизическими фирмами, например, такими как «Шлюмберже», что позволяет при создании вибросейсмических комплексов ориентироваться на реализацию самых современных технологий, связанных с проведением вибросейсмических исследований.

3. К сожалению, в настоящее время в России практически нет крупных геофизических предприятий с высоким научным потенциалом. Однако, понимая необходимость кооперации с геофизическим сообществом, руководство ЗАО «ГЕОСВИП» не исключает возможность проведения совместных работ и с малыми предприятиями, в состав которых входят ведущие учёные, занимающиеся вибросейсмическими исследованиями.

4. Чрезвычайно перспективная работа, заключающаяся в создании системы управления, обеспечивающей возможность практической реализации адаптивной вибросейсморазведки, была проведена ЗАО «ГЕОСВИП» совместно с малым предприятием ООО «Геофизические системы данных». Различные модификации адаптивной вибросейсморазведки, реализуемые с применением этой системы, в настоящее время внедряются не только в Российской Федерации, но и в Китае, а также в республиках Средней Азии. И очевидно, что при грамотном менеджменте такая работа может значительно повысить авторитет, а значит и

коммерческие преимущества продукции ЗАО «ГЕОСВИП».

5. Весьма уместной была бы также модернизация системы управления, разработанной ЗАО «ГЕОСВИП», которая обеспечила бы технологичное использование современных методических приёмов flip-flop, slip-sweep, ISS.

6. Наиболее высокой геологической эффективностью на данный момент характеризуется вибросейсмический излучатель ANV-IVTM RENEGADE, производимый в США компанией INOVA. По таким, чрезвычайно важным параметрам, как номинальное усилие, минимальная и максимальная рабочие частоты этот вибратор превосходит основные вибраторы, разработанные ЗАО «ГЕОСВИП», что позволяет при работе с ним обеспечить большую глубинность исследований и лучшую динамику формируемых колебаний. Характеристики источника ANV-IVTM RENEGADE, определяющие его наиболее значимые преимущества, безусловно, должны быть приняты во внимание специалистами ЗАО «ГЕОСВИП» при разработке новых моделей вибраторов.

7. На примере компании INOVA можно утверждать, что в настоящее время создание эффективных вибросейсмических установок, отвечающих современным требованиям, представляется возможным исключительно при условии, что разработка вибраторов включает и проведение серьёзных научных исследований. И это правило, безусловно, должно восприниматься специалистами ЗАО «ГЕОСВИП» в качестве аксиомы.

8. Участие ЗАО «ГЕОСВИП» в создании и производстве кодоимпульсных источников сейсмических колебаний могло бы также составить серьёзную перспективу развития предприятия. Актуальность развития кодоимпульсного способа

сейсмической разведки в настоящее время в значительной степени возрастает в связи с санкциями, установленными к Российской Федерации западными странами и необходимостью решения проблемы импортозамещения, поскольку ряд достаточно сложных элементов отечественных вибраторов производится за рубежом.

Литература

1. Даниэль Букар, Жиль Оливри, Дени Мужено, 2013, Низкочастотные свипы с вибраторами Nomad-65, электроникой VE464 и программой «CheckSweep». Приборы и системы разведочной геофизики, 3, 33–42.
2. Жуков А.П., Тищенко И.В., Калимулин Р.М., Горбунов В.С., Тищенко А.И., 2011, Адаптивная вибросейсморазведка в условиях неоднородного строения верхней части геологического разреза // Технологии сейсморазведки, 2, 5–12.
3. Зхоухонг Вэй, 2008, Совершенствование сейсмического вибратора продольных волн для повышения разрешённости сейсморазведки. Приборы и системы разведочной геофизики, 01 (23).
4. Кострыгин Ю.П., 2014, Вибросейсмический и кодоимпульсный методы сейсмической разведки. Краснодар: Изд-во «Просвещение-юг», 494 с.
5. Моугенот Д., 2004, Высокопроизводительный вибросейс. Приборы и системы разведочной геофизики, 03, 9–11.
6. Мужно Д.А., Череповский А.В., 2012, Использование глобальных навигационных спутниковых систем в полевой геофизике. Приборы и системы разведочной геофизики, 04, 47–50.
7. Sambell R. et al., 2010, Land seismic super-crew unlocks the Ara carbonate play of the Southern Oman Salt Basin with wide azimuth survey. – First Break, vol. 28.