

Взгляд геофизика на вибросейсмические излучатели, разработанные в ЗАО «ГЕОСВИП», в аспекте их геологической эффективности

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

В настоящее время в Российской Федерации разработкой, организацией производства и внедрением вибросейсмических комплексов в практику сейсморазведочных работ занимается компания ЗАО «ГЕОСВИП». В течение относительно короткого времени ЗАО «ГЕОСВИП» разработало, изготовило и передало в геофизические организации целый ряд вибросейсмических излучателей, которые достаточно широко применяются практически во всех нефтегазовых провинциях России.

Ряд сейсмических вибраторов с использованием колёсных транспортных баз, разработанный ЗАО «ГЕОСВИП», включает в себя следующие типы излучателей: СВ-14/150, СВ-20/150 МТК, СВ-27/150К, СВ-27/150 – 362 и СВ-30/150Б. Технические характеристики указанных излучателей приведены в таблице 1.

Наименьшей массой, равной 16800 кг, характеризуется СВ-14/150, развивающий номинальное динамическое усилие на грунт 200,8 кН. Вибратор смонтирован на шасси грузового автомобиля Урал-4320-41 с колёсной формулой 6×6, предназначенного для использования в вооружённых силах (см. рис. 1). В связи с повышенной проходимостью он достаточно успешно применяется в горных условиях. Так, в течение последних лет значительные объёмы сейсмических исследований с использованием вибратора СВ-14/150 были выполнены в пределах Терско-Сунженской зоны Восточного Предкавказья, в районах Сунженского и Терского хребтов. При этом, в отличие от многих других вибраторов, СВ-14/150, как правило, позволял отрабатывать

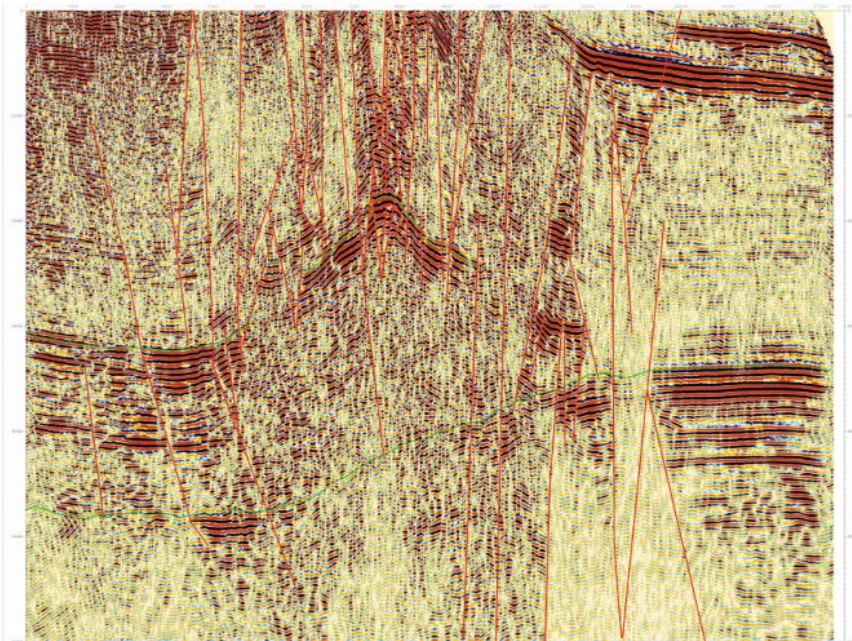


▲ Рис. 1. Вибратор СВ-14/150 в районе Сунженского хребта (Республика Ингушетия)

профили, расположенные практически ортогонально простиранию хребтов.

На рис. 2 приведён временной разрез, полученный ОАО «Ставропольнефтегеофизика» по заказу ОАО «Ингнефть» с использованием вибраторов СВ-14/150 по профилю, пересекающему Сунженский хребет ортогонально его простиранию. Вследствие того, что сейсмический профиль в данном случае был проложен практически перпендикулярно линии простирания хребта, исполнителям удалось достаточно точно определить местоположение свода перспективной на нефть и газ антиклинальной структуры в верхнемеловых отложениях. Такой результат стал возможен исключительно благодаря высокой проходимости вибросейсмического излучателя.

Имея относительно малые габариты, вибратор СВ-14/150 весьма успешно применяется также, например, при вибросейсмических наблюдениях на рисовых чеках Кубани, где профили располагаются, в основном, вдоль узких дамб, в населённых пунктах, на узких



◀ Рис. 2. Временной разрез, полученный ОАО «Ставропольнефтегеофизика» с использованием вибраторов СВ-14/150 по профилю, пересекающему Сунженский хребет ортогонально его простиранию

лесных просеках, где вырубki деревьев и кустарников запрещены и т.д.

Широкое применение при проведении сейсморазведочных работ получил вибратор СВ-20/150 МТК, развивающий номинальное динамическое усилие на грунт, равное 201,7 кН (см. рис. 3). Так, значительные объёмы сейсмических исследований 3D с использованием вибраторов СВ-20/150 МТК были выполнены компанией ООО «Екатеринодар Бизнес» по заказу СП ООО «GISSARNEFT-

GAZ» в рифогенных зонах Бешкентского прогиба, на площадях, расположенных на территории Узбекистана.

В пределах исследуемых площадей залежи нефти и газа в основном связаны с карбонатными отложениями келловей-оксфорда (Т6). При этом покрывка залежей углеводородов представлена соляно-ангидритовой толщей кимеридж-титона (Т4, Т5). В конкретных условиях высокую эффективность поиска ловушек нефти и газа можно обеспечить

▼ Табл. 1. Технические характеристики вибраторов, разработанных ЗАО «ГЕОСВИП» на колёсных транспортных базах

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	Полная масса, кг
СВ-14/150 (SV-14/150 Unit)	Урал 4320-41 6×6	140,1	1735	150,0	90	1165	1,6	16800
СВ-20/150МТК (SV-20/150МТК Unit)	КРАЗ-6322 6×6	200,8	2760	200,8	65	1600	1,94	21000
СВ-27/150К (SV-27/150K Unit)	КамАЗ-63501 8×8	239,4	3436	239,4	83	2134	2,3	27200
СВ-27/150-362	МОАЗ-6910 4×4	300,6	3578	270,0	88	2257	2,68	31000
СВ-30/150Б (SV-30/150B Unit)	БАГГИ 4×4	300,6	3798	284,4	88	1936	2,5	32060



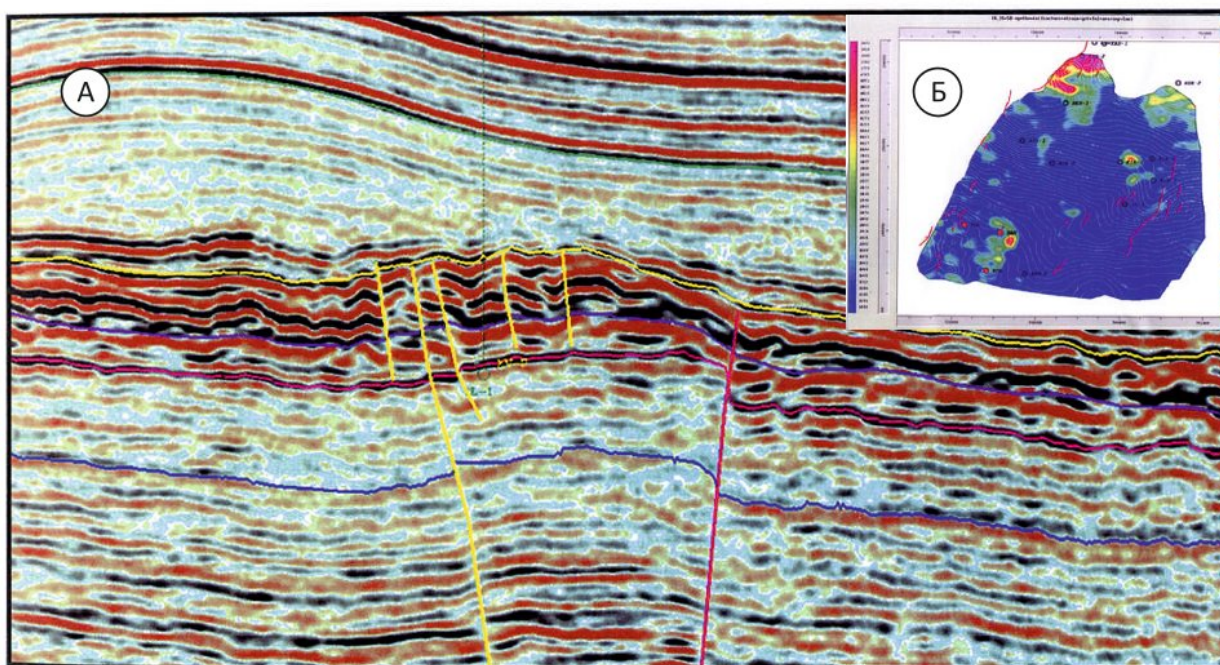
▲ Рис. 3. Вибратор СВ-20/150 МТК

лишь в результате совместного анализа структурных факторов и динамических атрибутов сейсмической записи. Вместе с тем, очевидно, что такой подход к геологической интерпретации материалов может обеспечить успех лишь в том случае, если применяемый источник сейсмических колебаний позволяет сформировать качественную динамику целевых отражений.

На рис. 4 представлен типичный временной разрез, полученный в условиях Бешкентского прогиба, в пределах блока Гасанжа-Даликун с применением нелинейных развёрток с фиксированным градиентом 0,15 дБ/Гц, обеспечиваю-

щим для управляющего сигнала четырёхкратное увеличение веса высокочастотных составляющих в полосе частот развёртки 10-90 Гц. Здесь же приведены материалы комплексного атрибутного анализа сейсмических записей, выполненного путём объединения информации по атрибуту затухания высоких частот FUL-FRO, по атрибуту энергии низких частот PRT-ENG и по флюид-фактору с использованием способа EPSTM.

Из приведённого рисунка следует, что в условиях Бешкентского прогиба использованная технология и динамические характеристики вибратора СВ-20/150 МТК обеспечили весьма качественное прослеживание отражений, соответствующих перспективным на нефть и газ карбонатным отложениям келловей-оксфорда (Т6), а также отражений, соответствующих соляно-ангидритовой толще кимеридж-титона, экраннующей залежи углеводородов (Т4, Т5). Более того, проведённый комплексный атрибутный анализ показал высокую вероятность наличия залежи углево-



▲ Рис. 4. Временной разрез (а) и карта комплексного атрибутного анализа (б), полученные в пределах блока Гасанжа-Даликун, с использованием вибраторов СВ-20/150 МТК

дорогов в отложениях келловей-оксфорда на севере исследуемого полигона (выделена красным цветом). В дальнейшем разведочная скважина, пробуренная в пределах контура предполагаемой залежи, подтвердила наличие весьма интенсивных газопроявлений из отложений келловей-оксфорда.

По мнению ведущих геологов и геофизиков Узбекистана столь информативный сейсмический материал в рифогенных зонах Бешкентского прогиба был получен впервые. Таким образом, очевидно, что вибратор СВ-20/150 МТК может обеспечивать качество сейсмических записей, в полной мере соответствующее современным требованиям.

С учётом мировых тенденций развития вибросейсмической техники, включающих, в частности, создание вибраторов, развивающих всё более высокие динамические усилия на грунт, в России были разработаны и нашли широкое применение вибросейсмические излучатели СВ-27/150К и СВ-27/150 – 362, обеспечивающие номинальное силовое воздействие, равное соответственно 239,4 и 300,6 кН. Установка СВ-27/150К показана на рис. 5.

Применение более мощных излучателей позволяет не только повысить глубину сейсмической разведки, но и улучшить динамику возбуждаемых колебаний. Действительно, улучшение динамических характеристик вибросейсмических записей представляется возможным путём использования комбинированных или нелинейных развёрток. Вместе с тем, в отличие от ЛЧМ-сигналов такие развёртки в большей степени рассогласованы с совокупной частотной характеристикой среды и системы вибратор-грунт. Поэтому в одинаковых условиях глубинность сейсмических исследований при работе с



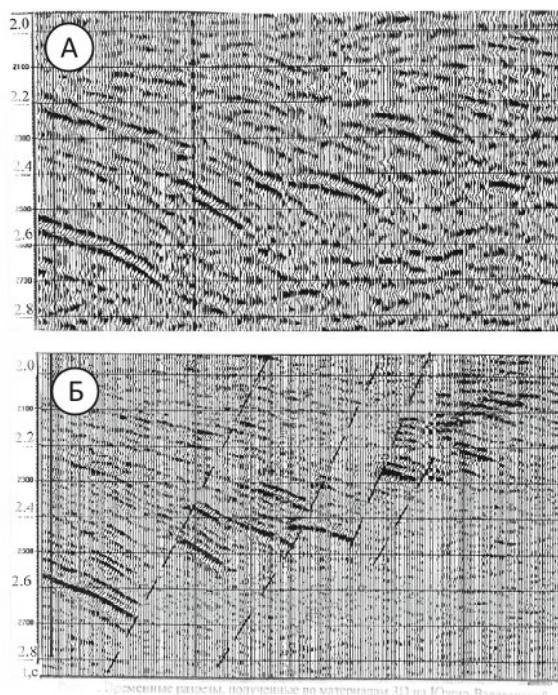
▲ Рис. 5. Вибратор СВ-27/150К

комбинированными или нелинейными развёртками всегда уступает глубинности исследований в случае применения ЛЧМ-сигналов. Использование же для возбуждения колебаний излучателей повышенной мощности, позволяет компенсировать указанный недостаток и в связи с этим более эффективно применять комбинированные и нелинейные развёртки с целью улучшения динамики регистрируемых колебаний.

Так, например, использование в условиях Западно-Кубанского прогиба вибраторов СВ-27/150К и возбуждение комбинированных сигналов, состоящих из трёх сегментов с частотными диапазонами: $\Delta F_1 = 8 - 90$ Гц, $\Delta F_2 = 34 - 90$ Гц, $\Delta F_3 = 43 - 90$ Гц, позволило существенно повысить эффективность исследований целевых караган-чокракских отложений ($t_0 = 2 - 2.7$ с). На рис. 6 сопоставлены временные разрезы, соответствующие одноимённым сечениям кубов 3D, отработанных на Южно-Варавенской площади ОАО «Краснодарнефтегеофизика» (а) и ОАО «Саратовнефтегеофизика» (б) по заказу ОАО «Роснефть - Краснодарнефтегаз». В первом случае (а) колебания возбуждались вибраторами СВ10/180 с применением ЛЧМ-развёрток, а во втором случае (б) в качестве зондирующих сигналов использовались комбинированные развёртки, возбуждаемые вибраторами СВ-27/150К.

При сопоставлении представленных разрезов наибольший геологический интерес представлял вопрос о достоверности картирования разломов в караганчокских отложениях. Из рис. 6 видно, что использование комбинированных развёрток в конкретных условиях позволило существенно повысить достоверность выделения разломов, расширить спектр целевых отражений и в целом улучшить качество разрезов. Такой результат был в первую очередь связан с применением вибратора СВ-27/150К, позволяющего формировать высокоамплитудные отражения, характеризующиеся качественной динамикой колебаний.

Дальнейшее развитие направления по разработке более мощных излучателей привело к созданию вибратора СВ-30/150Б («Русич»), развивающего номинальное силовое воздействие на грунт, равное 300,6 кН [1]. Вибросейсмическая установка СВ-30/150Б показана на рис. 7.



▲ Рис. 6. Временные разрезы, соответствующие одноимённым сечениям куба 3D: а – применялись вибраторы СВ 10/180, ЛЧМ-развёртка; б – вибраторы СВ-27/150К, комбинированная развёртка



▲ Рис. 7. Вибратор СВ-30/150Б («Русич»)

Вибратор смонтирован на самоходном гидрофицированном шасси типа «багги» с шарнирно-сочленённой рамой. При этом угол поворота передней полурамы относительно задней равен $\pm 32^\circ$, что обеспечивает малый радиус поворота шасси и тем самым высокую манёвренность. Более того, универсальный шарнир позволяет полурамам наклоняться относительно друг друга и в вертикальной плоскости на угол до $\pm 16^\circ$. Это разгружает раму при движении источника по пересечённой местности и создаёт серьёзные преимущества при проведении сейсморазведочных работ в горных условиях.

По всем основным техническим параметрам вибратор СВ-30/150Б не уступает, а по ряду параметров и превосходит лучшие зарубежные аналоги [1]. К наиболее значимым преимуществам данного излучателя можно отнести следующее:

- Габариты установки при использовании шин размером 23,5-25 позволяют 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 вибросейсмических установок. Так, если для американского излучателя ANH-IVTM(PLS-362) и французского источника NOMAD-65 максимальная скорость движения равна соответственно 26 и 28



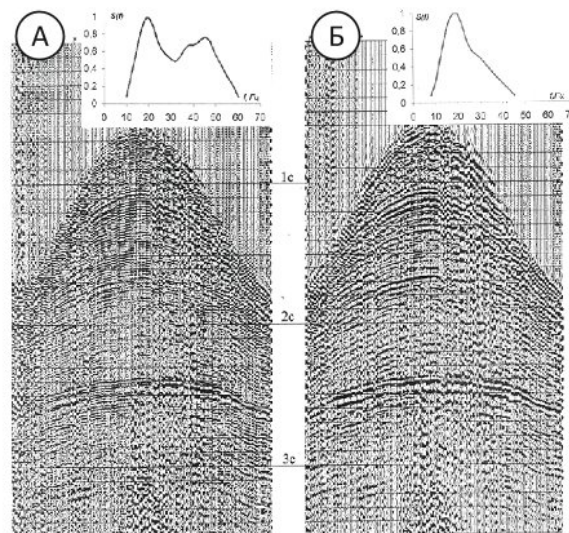
▲ Рис. 8. Арктический вибратор CBC24/PC27 (SVS24/PC27 Unit)

км/ч, то для СВ-30/150Б она равна 38 км/ч.

- Нижняя частота возбуждаемых колебаний $F_{\min}$ для рабочего диапазона вибратора СВ-30/150Б равна 5 Гц, в то время как, например, для широко используемого французского источника NOMAD-65 $F_{\min} = 7$ Гц [1]. С учётом современных тенденций развития вибросейсмических технологий такое преимущество является достаточно существенным и в совокупности с более высоким номинальным силовым динамическим воздействием на грунт позволяет формировать сигналы с более качественной динамикой колебаний. При этом очевидно, что при таких параметрах вибратор СВ-30/150Б способен обеспечить более высокую эффективность применения технологии «свип максимального смещения», позволяющей возбуждать вибросейсмические колебания, начиная с частот 1-3 Гц [2].

Помимо сейсмических вибраторов, использующих колёсные транспортные базы, ЗАО «ГЕОСВИП» разработало два типа излучателей на гусеничных снегоболотоходных шасси: CBC24/PC27 (SVS24/PC27 Unit) и СВ-5/300В. Технические характеристики указанных излучателей приведены в таблице 2.

Излучатель CBC24/PC27 относится к



▲ Рис. 9. Коррелограммы и соответствующие им амплитудные спектры ($\Delta t=2,3-2,6$ с), полученные на Западно-Губкинской площади с использованием комбинированных (а) и ЛЧМ-сигналов (б)

классу арктических вибраторов (см. рис. 8), и начало его производства явилось достаточно значимым событием для российских геофизиков, поскольку большая часть месторождений нефти и газа в России располагается на Крайнем Севере. Одной из первых организаций, приступивших к эксплуатации этого источника, было ЗАО «Сибнефтегазгеофизика», проводившая сейсморазведочные работы в Губкинском нефтегазоносном районе. И уже на начальной стадии эксплуатации вибраторов CBC24/PC27 было показано, что у геофизиков при выполнении работ в условиях Крайнего Севера появились новые серьёзные возможности для повышения эффективности сейсмических исследований. Вибраторы отличались повышенной проходимостью и надёжностью, что позволяло организовывать двухсменную работу и эксплуатировать излучатели практически круглые сутки.

В качестве зондирующих сигналов в основном применялись комбинированные развёртки. Используемая техноло-

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	Полная масса, кг
CBC24/ PC27 (SVS24/ PC27 Unit)	Гусеничное PC27	264,8	3798	264,8	88	1940	2,50	29500
CB-5/300B	Гусеничное Mogooka MST-800VD	50	800	53,9	50	500	0,5	9300

▲ Табл. 2. Технические характеристики вибраторов, разработанных ЗАО «ГЕОСВИП» на гусеничных снегоболотоходных шасси

гия и динамические характеристики возбудителя вибраций источника CBC24/PC27 позволяли в условиях Губкинского нефтегазоносного района получать исходные сейсмические записи с весьма качественной динамикой целевых отражений баженовской группы (см. рис.9). Вследствие этого на окончательных разрезах целевые отражения характеризовались относительно высокой спектральной плотностью в области 70-90 Гц, что в свою очередь способствовало качественному выполнению инверсии акустического импеданса и комплексной оценке нефтегазоносности отложений.

Высокочастотный вибратор CB-5/300B, являющийся последней разработкой ЗАО «ГЕОСВИП», занял нишу вибросейсмических излучателей, предназначенных для детального исследования геологических разрезов на глубину, по-видимому, не превышающую $\approx 1-1,5$ км. Источник может быть использован для поиска нефти и газа, для изучения угольных и рудных полей, а также для инженерных изысканий в городских условиях с повышенным уровнем некогерентных помех. Ранее эта ниша фактически была свободной.

Вибратор смонтирован на гусеничном шасси Mogooka MST-800VD (Япония), позволяющем преодолевать подъёмы до $\approx 30^\circ$ (см. рис. 10). Рабочий диапазон частот излучателя соответствует интервалу 5-450 Гц. Источник обладает уникаль-

ными возможностями и поэтому, безусловно, представляет значительный, как научный, так и практический интерес для геофизиков. Вместе с тем, очевидно, что данный вибратор будет по настоящему востребован лишь после того, как будут сформулированы основные параметры методики сейсмических наблюдений и доказана высокая геологическая эффективность при его использовании.

К настоящему времени предприятием ОП «Спецгеофизика» получены сейсмические разрезы с применением излучателя CB-5/300B [3]. Один из таких глубинных разрезов приведён на рис. 11. Сейсмические исследования в данном случае были проведены с целью изучения складчатой структуры рудовмещающих отложений.

Представленный разрез характеризуется достаточно высокой информатив-



▲ Рис. 10. Высокочастотный вибратор CB-5/300B

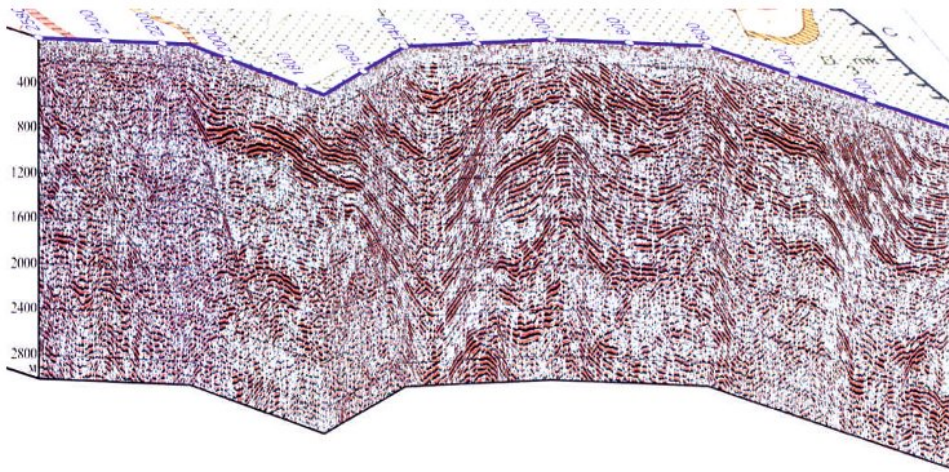


Рис.11. Глубинный сейсмический разрез, полученный ОП «Спец-геофизика» вдоль криволинейного профиля с применением высокочастотного вибратора СВ-5/300В с целью изучения складчатой структуры рудовмещающих отложений

ностью, однако спектральный состав колебаний на разрезе практически не отличается от спектрального состава колебаний, возбуждаемых обычными (не высокочастотными) вибраторами. И это может породить у геофизиков некоторые сомнения в необходимости приобретения таких источников.

Физические причины относительно низкочастотного состава колебаний на приведённом разрезе в значительной степени связаны с тем, что при проведении сейсморазведочных работ в основном применяются датчики скорости смещения, и уже, поэтому, вследствие физического интегрирования сигналов ускорения в колебательных системах сейсμοприёмников, равномерные амплитудные спектры формируемых силовых воздействий преобразуются в более низкочастотные спектры скорости смещения в соответствии с соотношением $1/f$, где f – частота колебаний. Т.е. если вибратор возбуждает ЛЧМ-сигнал с частотным диапазоном развёртки, например, 20-400 Гц и форс-сигнал характеризуется в полосе частот развёртки равномерной спектральной плотностью, то по сравнению с 20-герцовой гармоникой вес 100-герцовой гармоники уменьшится в 5 раз, 200-герцовой гармоники в 10 раз и т.д. Дополнительное ослабление высокочастотных составляю-

щих, как известно, связано с частотно зависимым поглощением упругих колебаний в геологической среде.

Таким образом, возможности обеспечения качественной динамики отражений даже при использовании высокочастотного вибратора СВ-5/300В зависят не только от ширины частотного диапазона развёртки, но и ещё в большей степени от типа развёртки. С целью повышения эффективности такого излучателя целесообразно применение высокочастотных нелинейных и комбинированных развёрток либо замена индукционно-динамических сейсμοприёмников на акселерометры.

Помимо разработки вибраторов на колёсных и гусеничных снегоболотоходных шасси специалисты ЗАО «Геосвип» не остались в стороне и от создания универсального вибросейсмического излучателя, способного работать в разных регионах и разных климатических условиях. На предприятии был разработан вибросейсмический источник СВ-27/150БКГ, смонтированный на колесно-гусеничном багги 8×8.

На колёсах такой источник способен перемещаться по плотному грунту и дорогам со скоростью до 45 км/ч. При этом специального разрешения для движения излучателя по дорогам не требуется (см. рис.12, а). Для передвиже-



▲ Рис. 12. Универсальный вибросейсмический излучатель СВ-27/150БКГ:
а – вариант перемещения по твёрдому грунту и дорогам;
б - вариант передвижения по болотистой местности, зыбучим пескам,
или по глубокому снегу

ния по болотистой местности, зыбучим пескам, или по глубокому снегу, на колесные пары одеваются четыре гусеницы. В таком положении вибратор может перемещаться со скоростью до 20 км/ч (рис. 12, б).

По основным техническим характеристикам возбудителя вибраций, а значит и по динамике возбуждаемых колебаний, СВ-27/150БКГ практически не отличается от вибраторов СВС24/ РС27 и СВ-30/150Б (см. таблицу 3)

Таким образом, в ЗАО «Геосвип» был создан ряд вибросейсмических излучателей с использованием транспортных баз, обеспечивающих эффективную работу во всём диапазоне природно-климатических, почвенных и горно-геологических условий. Динамические характеристики излучателей позволяют успешно решать самые сложные задачи, стоящие перед современной сейсморазведкой.

Весьма значительный научный и практический интерес для геофизиков

представляет высокочастотный вибратор СВ-5/300В. Вместе с тем, очевидно, что данный вибратор будет по-настоящему востребован лишь после того, как будут сформулированы основные параметры методики сейсмических наблюдений и доказана высокая геологическая эффективность при его использовании.

Литература

1. Алелюхин Н.П., Насыбулин Е.Х., Оменцов Ф.И., Асан-Джалалов О.А., Гридин П.А., 2007, Источник сейсмических сигналов СВ-30/150Б. Приборы и системы разведочной геофизики, 2 (20), 18–20.
2. 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.
3. Сулейманов А.К., Алелюхин Н.П., 2010, Сейсморазведка на отражённых волнах с использованием высокочастотного вибратора СВ-5/300В. Приборы и системы разведочной геофизики, 01.

▼ Табл. 3. Технические характеристики универсального вибратора СВ-27/150БКГ

Шасси	Толкающее усилие, кН	Реактивная масса, кг	Усилие прижима, кН	Макс. смещение реактивной массы, мм	Масса опорной плиты, кг	Площадь опорной плиты, м ²	Полная масса, кг
Колесно-гусеничное БАГИ 8×8	275,0	3798	275,0	88	1744	2,50	28000