

О развитии технических средств регистрации сейсмического сигнала и вибрационной сейсморазведки.

Часть 3. Технология «Вибросейс»

■ Жуков А.П., Горбунов В.С., ООО «НПП «Спецгеофизика», г. Уфа.

Настоящая статья является третьей частью обзора развития технических средств регистрации сейсмического сигнала и вибрационной сейсморазведки.

Разработка вибрационных технологий в СССР.

Первые идеи создания вибрационных источников возбуждения для исследования земной толщи появились у отечественных инженеров после публикаций сотрудников «Сопосо» (Кроуфорда, Дотти, Ли) о возможности использования частотных разверток в сейсмической разведке. В начале 60-х годов для многих (не только для советских ученых) оставалась загадкой методика получения импульсных (как при использовании взрывчатого вещества) сейсмограмм. То есть корреляция происходила в «черном ящике», и никто, кроме разработчиков «Сопосо», не мог понять, каким образом происходит свертка. Поэтому отечественные инженеры разрабатывали собственные методы получения импульсных сейсмограмм при использовании вибрационных источников. В 60-е годы в СССР над созданием вибрационных источников независимо друг от друга работали три научные группы: ВИРГ (г. Ленинград, Ю.П. Лукашин), Краснодарский филиал Всесоюзного научно-исследовательского института геофизических методов разведки (А.М. Седин, Г.И. Молоканов, Д.Ф. Линчевский) и Институт автоматики и электрометрии СО АН (г. Новосибирск, И.С. Чичинин, В.И. Юшин, Г.П. Евчатов). В основном все работы проводились без поддержки профильных министерств, на «голом» энтузиазме руководителей исследовательских групп и при поддержке известных академиков.

Новосибирские разработки строились вокруг частотного метода И.С. Чичинина. Еще до того, как американские ученые опубликовали методику корреляции сейсмической записи и вибрационного сигнала, И.С. Чичинин придумал альтернативный (частотный) метод, где накопление энергии отраженного сигнала происходило не во временной области, а в частотной. Соответственно, производилась обработка и преобразование частотного спектра получаемого отклика среды. Недостаток финансирования, отсутствие элементной базы для создания виброплатформы и системы регистрации затрудняли процесс создания работоспособного комплекса. В 1968 году прошли первые испытания вибратора и были получены первые частотные сейсмограммы. В итоге было создано несколько комплексов эксцентриковых вибраторов под названием «Вибролокатор» (Рис. 40), ЦВ-30, ЦВ-40, ЦВ-100 (общая масса 30, 40 и 100 тонн соответственно), использовавшихся для глубоких сейсмических зондирований. Узкая специализация предопределила судьбу разработок новосибирского коллектива – с коллапсом экономики СССР и постсоветской России окончательно прекратилось финансирование проекта, а описанные вибрационные комплексы не нашли своего применения в нефтегазовой промышленности. Более подробно о проекте И.С. Чичинина и его коллектива рекомендуем прочитать статью В.И. Юшина «Как военмеховец оказался геофизиком» [41].

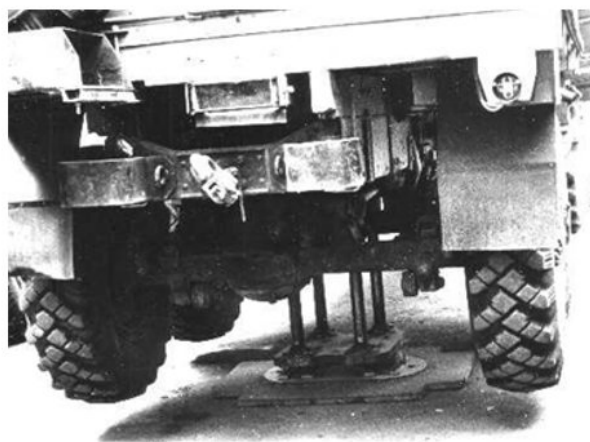
Ленинградская исследовательская группа под руководством Ю.П. Лукашина в середине 60-х в ВИРГе разработала



▲ Рис. 40. «Вибролокатор» - комплекс аппаратуры и оборудования для вибрационной сейсморазведки нефтяных и газовых месторождений [42].

модель эксцентрикового вибрационного источника. Данная разработка использовалась в основном для поиска и разведки рудных ископаемых. В 70-е годы модель вибратора выпускалась на заводе «Казгеофизприбор» под обозначением ВСК-1 [43]. ВСК-1 состоял из станции возбуждения ССВ-ВСК-1, регистрирующей станции записи ССЗ-ВСК-1 и обрабатывающего устройства ССО-ВСК-1. ВСК-1 был способен генерировать частоты в диапазоне 20–80 Гц с длительностью 15, 30, 60 и 120 с, максимальное усилие на частоте 50 Гц – 3 тонны. Пропускная способность ССЗ-ВСК-1 составляла 12 каналов с аналоговой записью на магнитной ленте. ССО-ВСК-1 имело коррелятор. Таким образом,

▼ Рис. 41. Эксцентриковый вибратор СВ-ВСК-2 в рабочем положении [44].



ВСК-1 – это не только вибратор, а целый комплекс возбуждения и регистрации вибрационного сигнала, впрочем, как и «Вибролокатор». В комплексах ВСК-2 (Рис. 41) выпускавшихся с 1982 года уже имелся АЦП, 24 канала записи, а максимальное усилие вибратора составляло до 5 тонн.

Также стоит упомянуть и разработку 70-80-х годов Тольяттинского политехнического института и СКТБПЭ (г. Харьков) – кодо-импульсного (дискретного действия) сейсмического источника ИКИ-10/40, хорошо зарекомендовавшего себя при проведении полевых испытаний и производственных проектов. К сожалению, перспективная разработка была заброшена из-за недостатка финансирования и разрыва экономических связей при распаде Советского Союза [45].

Вышеперечисленными коллективами отечественных ученых были проложены альтернативные пути развития вибрационной сейсморазведки, показавшие впечатляющие результаты. Однако, несмотря на все достижения, советским инженерам не удалось создать свой вибратор или вибрационный комплекс, способный удовлетворить потребности отрасли при разведке месторождений нефти и газа.

В начале 70-х годов Министерство нефтяной промышленности СССР купило у компании «Mertz» электрогидравлический вибрационный источник Model 8, который послужил основой для собственных разработок на специально организованном предприятии «СКТБ сейсмической техники» (г. Гомель). Почти одновременно с гомельским предприятием разработка и выпуск вибраторов были налажены на заводе «СКБИМ» («Точмашприбор», г. Армавир). Так началась эпоха вибрационной нефтегазовой сейсморазведки в СССР.

В становлении вибрационного метода в нашей стране участвовало множество замечательных ученых, среди которых особое место занимает доктор технических наук М.Б. Шнеерсон, сыгравший значительную роль в развитии теории и практики вибрационной сейсморазведки.

СКБИМ («Точмашприбор»). В 1971 году Министерство геологии СССР заключило с Министерством приборостроения договор о создании сейсмических автономных источников разной мощности и с возможностью возбуждения разных типов сигналов. Технические требования были выработаны специалистами ВНИИ Геофизика – М.Б. Шнеерсоном, И.А. Гродзенским, И.С. Львом, А.П. Жуковым. Разработку, изготовление опытных образцов, проведение испытаний, внедрение образцов в производство было налажено в г. Армавир в Специальном конструкторском бюро испытательных машин (СКБИМ) на базе завода испытательных машин (ЗИМ) ПО «Точмашприбор» во многом благодаря тому, что на заводе изготавливалось гидравлическое оборудование, пригодное для использования в вибрационной технике. Все работы велись в отделе разработки вибрационных и динамических испытательных систем под руководством начальника отдела и главного специалиста по созданию сейсмического виброисточника А.С. Кастанова. Также в коллектив входили ведущие специалисты – Г.Н. Лантухов, Ю.И. Мордасов, Г.М. Гершевич, С.Г. Боцман, В.М. Шевкунов, В.И. Булеков.

Первые опытные образцы сейсмических вибраторов СВ-5-150 (Рис. 42) были изготовлены в 1977 году на базе автомобиля «Урал», имели массу около 16 тонн и развивали усилие не более 4 тонн. После проведенной модернизации опытного образца общий вес уменьшился до 15 тонн, а усилие воздействия было увеличено до 5 тонн. В 1979 году новый

образец получил название СВ-5-150М1. Работа по совершенствованию сейсмических вибраторов велась постоянно и уже в 1982 году вышла новая модель СВ-5-150М2 с усилием 10 тонн (Рис. 43), которая с наилучшей стороны зарекомендовала себя при проведении полевых работ с точки зрения мобильности и качества возбуждаемого сигнала. В последующие годы были произведены следующие модели вибраторов: СВ-20-150С (1991 год, усилие 20 тонн на базе гусеничного вездехода «Foremost») и последующие модификации типа СВ-5-150М2А (10 тонн), СВ-15-180 (15 тонн), СВ-20-200 (20 тонн). Частотный диапазон у разных моделей составлял от 5 до 150-200 Гц. В Армавире с 1977 по 1993 год было выпущено около 1700 единиц виброисточников, в основном на базе автомобиля «Урал» 6х6. В настоящее время производство отсутствует, осуществляется лишь модернизация оборудования.

«СКТБ СТ» («Сейсмотехника»). В 1973 году по решению Министерства нефтя-

▼ Рис. 42. Сейсмический вибратор СВ-5-150 (Армавир) [46].



▼ Рис. 43. Сейсмический вибратор СВ-5-150М2 (Армавир, 1990) [47].



ной промышленности СССР в Гомеле была организовано предприятие по разработке невзрывных источников сейсмических колебаний, в 1974 году преобразованная в «СКТБ сейсмической техники» (СКТБ СТ), позже – НПО «Сейсмотехника» под руководством А.С. Шагиняна. Кстати, самого Шагиняна перевели из армавирского завода «ЗИМ» «Точмашприбор», где он занимал должность заведующего конструкторским отделом, работающим, в том числе над гидравлическими системами. С этого времени в Гомеле замечательным коллективом инженеров (А.Г. Асан-Джалалов, А.А. Певнев, А.П. Андросенко, В.Г. Позняков, П.П. Манойленко и др.) велась разработка и выпуск гидравлических сейсмических вибрационных источников и другого электрического оборудования. На гомельском заводе с 1980 года начался серийный выпуск гидравлических вибрационных источников СВ-10/100 (Рис. 44). За семь лет в сейсмические партии было поставлено более 100 единиц СВ-10/100. В последующие годы выпускались сейсмические вибраторы: СВ-10/150, СВ-10/180 (1987), СВ-16/150, СВ-10/180 МП, СВ-12/150 (1991); СВ-20/150, СВ-20/80 (1992); СВ-20/120, СВ-16/120 (1994), СВ-27/150 (1995), СВ-30/120 ТСВ, СВ-30/120 (Рис. 45), СВ-20/150 [48]. Первая цифра в названии обозначает максимальное толкающее усилие. Диапазоны частот варьировались от 5 до 200 Гц. Актуальными передовыми моделями на данный момент являются: СВ-30/120М, СВ-30/120Н, СВ-30/150 (совместная разработка «Сейсмотехники» и «Башнефтегеофизики»).

«ГЕОСВИП». С распадом СССР часть коллектива «Сейсмотехники» во главе с А.Г. Асан-Джалаловым переехала в г. Кимры, где было образовано предприятие «Геосвип» (ГЕОфизические Системы Вибрационного Поиска) и налажено



▲ Рис. 44. Сейсмический вибратор СВ-10/100 (Гомель) [49].



▲ Рис. 45. Сейсмический вибратор СВ-30/120 (Гомель) [50].

производство сейсмических вибрационных источников. В 1990-е и 2000-е годы выпускались следующие модели на различных транспортных базах с частотным диапазоном 5–250 Гц (первые цифры в названии модели обозначают максимальное усилие воздействия): СВ-18/120 (до 1998 г.), СВ-14/150 – один из самых популярных отечественных вибраторов 2000-х годов, СВ 27/150, СВ 27/150К, СВ-24/РС27 (Рис. 46), СВ-20/150МТК. В качестве транспортной базы для виброисточников используются колесные шасси «КАМАЗ», «УРАЛ», «МАЗ», на гусеничном ходу и специализированные шасси собственной разработки. В производстве используются комплектующие не только отечественных, но и зарубежных производителей, что позволяет выпускать продукцию самого высокого качества и повысить эксплуатационные характеристики. Самая последняя актуальная разработка, не уступающая западным образцам, –



▲ Рис. 46. Сейсмический вибратор СВС24/РС27 («Геосвип») [51].



▲ Рис. 47. Сейсмический вибратор СВ-30/150Б «Русич» («Геосвип») [52].

СВ-30/150Б «Русич» (Рис. 47). В настоящее время ЗАО «Геосвип» входит в холдинг АО «Росгеология».

Помимо основных отечественных производителей существуют сервисные организации, которые осуществляют сборку вибрационных источников для оснащения своих производственных партий. Виброузлы и другие комплектующие чаще всего поставляют другие компании, как отечественные, так и зарубежные. В качестве примера можно выделить ОАО «Татнефтегеофизика» и ОАО «Башнефтегеофизика».

«Татнефтегеофизика». В период с 1996 по 2000 годы в рамках сотрудничества между ОАО «Татнефтегеофизика» и компанией «IVI» были созданы вибрационные источники на базе шасси КАМАЗ-63500 с виброузлом НЕМ150 (Рис. 48). Сборка осуществлялась на мощностях ОАО «Татнефтегеофизика». Было выпущено более 14 экземпляров, которые успешно отработали более 12 лет.



▲ Рис. 48. Вибрационный узел НЕМ150 («IVI») на шасси КАМАЗа («Татнефтегеофизика») [53].

«Башнефтегеофизика». У «Башнефтегеофизики» имеется довольно большой опыт по сборке вибрационных источников и сотрудничеству со многими поставщиками комплектующих. Так, в 90-е годы специалисты компании осуществляли сборку вибраторов с виброузлом Mertz модели M27/623B на базе шасси КАМАЗ-63501 (Рис. 49). Еще одним интересным экземпляром являлся вибратор СВГ-27/ДТ на базе снего-болотохода «Витязь», производства ишимбайского завода. В данной модели использовался виброузел PSL-362 фирмы «Input/Output, Inc».

В настоящее время «Башнефтегеофизика» совместно с «Сейсмотехникой» осуществляет сборку и внедрение в производство перспективного сейсмического вибратора «Батыр» (Рис. 50 и Рис. 51).

▼ Рис. 49. Виброузел Mertz M27/623B на базе шасси КАМАЗа («Башнефтегеофизика») [54].





▲ Рис. 50. Сейсмический вибратор СГМ6 «Батыр» на шасси «багги» [55].



▲ Рис. 51. Сейсмический вибратор СГМ6 «Батыр» на шасси снего-болотохода [56].

«Зеленая» сейсморазведка. Для уменьшения воздействия на окружающую среду многие производители вибрационных источников предлагают своим клиентам небольшие вибраторы с достаточно малым усилием воздействия для возможности работы в населенных пунктах, в местах со сложной экологической обстановкой и высокими требованиями по выбросам CO₂ к двигателям установок. На сегодняшний день самыми известными моделями являются: UV2 («Inova»), EnviroVibe 2 производства «IVI» (Рис. 52), Nomad 15 («Sercel»). На предприятии «Геосвип» также была выпущена партия высокочастотных вибраторов с частотным диапазоном 5-300 Гц.

Системы управления. С появлением технологии «Вибросейс» возникла необходимость в управлении и контроле параметров вибросейсмического сигнала. Неотъемлемой частью вибрационной технологии стали системы синхрониза-



▲ Рис. 52. Вибрационный источник малой мощности EnviroVibe 2 («IVI») [57].

ции или блоки управления сейсмическими вибраторами (БУСВ). Образно говоря, вибровозбудитель с сопутствующими системами – это сердце и тело виброисточника, а БУСВ – головной мозг.

«Pelton» («I/O», «Inova»), «Seismic Source». Чарльз Пелтон, сотрудник компании «Сопосо», во время разработки метода «Вибросейс» активно участвовал в проектировании, производстве и полевых испытаниях вибрационного оборудования. А в 1969 году основал компанию «Pelton», которая вскоре стала основным поставщиком электронных компонентов для «Вибросейса». Компания «Pelton» заняла лидирующую позицию и оставалась флагманом производства систем управления и другой сейсмической электроники на протяжении не одного десятилетия. В начале 70-х годов компания «Pelton» выпускает первый универсальный синхронизатор сейсмического источника. В те же годы «Pelton» представляет Pelco Advance I. В 80-е выпускает Advance II & Vibra Chek. В 80-е выпускает Advance II & Vibra Chek. В середине 90-х – Advance III Vib Pro с возможностью снятия характеристик с плиты и массы. Для этой и последующих модификаций БУСВ характерно, что они были выполнены по универсальной схеме, то есть один и тот же блок мог работать в двух режимах – шифратор и дешифратор. Такая схема удобна в плане взаимозаменяемости блоков при воз-

никновении внештатных ситуаций. С другой стороны функционал блока избыточен для сейсмостанции, поэтому многие производители делают отдельный небольшой шифратор, что ощутимо дешевле. Собственно универсальные БУСВы на данный момент выпускает только «Inova» серии Vib Pro и ООО «НПП «Спецгеофизика» серии GDS. В 2000-х годах «Pelton» представляет Vib Pro HD, а в 2010-х «Inova» совместно с «Seismic Source Co.» разрабатывают Vib Pro HD (Force 3). Сравнение внешнего вида двух устройств показано на Рис. 53.

В начале 2000-х годов выходцами из «Pelton» была основана компания той же производственной направленности – «Seismic Source». Благодаря опыту, полученному в «Pelton», специалистами были разработана система Force 2, шифраторы серии Universal Encoder (Рис. 54).

«Litton», «I/O». Как уже было сказано выше, для обеспечения собственных потребностей в оборудовании сервисной компании «Western Geophysical» в струк-

туре «Litton» было создано подразделение по производству широкого спектра геофизического оборудования – «Litton Resources Systems». Все без исключения оборудование производилось под аббревиатурой «LRS» с очень оригинальной нумерацией классов оборудования, например, LRS-309 – вибраторы, LRS-9 – система регистрации, LRS-3200 – система обработки сейсмических данных, LRS-2524 – сейсмоприёмники, LRS-100 – система синхронизации. Системами синхронизации LRS были оснащены только вибрационные партии «Western Geophysical», за пределы компании поставки оборудования не осуществлялись. В середине 90-х годов, после преобразований в структуре собственников и управления «Western Atlas», производство БУСВ было продолжено компанией «I/O». В 2001 году «I/O» купила компанию «Pelton», и производство БУСВ LRS было прекращено.

«Geosource». Структура компании «Geosource» была очень похожа на структуру «Litton». Подразделение «Mandrel Industries» занималось разработкой широкой номенклатуры оборудования (сейсмоприёмники, сейсмостанции, БУСВ и т.д.) для «Petty-Ray», сервисного подразделения «Geosource». Вибрационные источники для «Geosource» изготавливались компанией «Failing». В 80-е годы «Mandrel» выпускала качественные системы синхронизации SHV/RCV различных модификаций с автоматическим контролем усилия воздействия (Рис. 55). К сожалению, в середине 90-х годов производство оборудования было прекращено.

«Sercel». С 80-х годов прошлого века компания «Sercel» также производила весьма надежные БУСВ: VE416 (1988), VE432 (1997), VE464 (Рис. 56) 2007 года

▼ Рис. 53. БУСВ Vib Pro HD («Inova») и Force 3 («Seismic Source») [58,59].



▼ Рис. 54. Дешифратор Force 2 и шифратор «Universal Encoder» («Seismic Source») [60].





▲ Рис. 55. Система синхронизации SHV 310 («Geosource», 80-е годы) [24].

выпуска. Системы синхронизации производства «Sercel» не универсальны: шифратор не может выполнять функции дешифратора и наоборот.



▲ Рис. 56. БУСВ VE464. Шифратор (слева) и дешифратор (справа) [61].

«СКТБ СТ» («Сейсмотехника»), «Геос-вип». В начале 70-х годов, одновременно с началом производства в СССР сейсмических вибраторов, возникла необходимость разработки собственной системы управления. В 80-е годы «Сейсмотехника» производила системы управления БУСВ/ГС, а в начале 90-х компания выпустила БУСВ МП/ГС с возможностью построения сложных сигналов. В настоящее время «Сейсмотехника» выпускает БУСВ Т /ГС Т, представленный на Рис. 57. ГСТ устанавливается на сейсмостанции, Т – на вибраторе.

После того, как в середине 90-х часть коллектива отделилась от «Сейсмотехники», и было организовано производство отечественных сейсмических вибраторов в г. Кимры, компания «Геосвип» разработала собственную систему управления виброисточниками VICONT-002



▲ Рис. 57. Система управления вибрационными источниками БУСВ Т/ГС Т [62].

(Рис. 58) с отдельным шифратором и дешифратором.



▲ Рис. 58. БУСВ VICONT-002.

«Геофизические Системы Данных» («НПП «Спецгеофизика»). В начале 2000-х годов компания «ГСД» начала разработку системы управления виброисточниками. Она задумывалась не только как система управления с набором стандартных функций, но и как средство для реализации теоретически обоснованных нелинейных сигналов особого вида, позволяющих компенсировать частотно-зависимое затухание (технология АВИСейс*, * – собственные разработки «ГСД»). Для простоты производства и использования БУСВ выполнен в универсальном виде (шифратор и дешифратор в одном устройстве), что полностью себя оправдало, поскольку в процессе разработки новых сигналов и вибрационных технологий за 10 лет специалистами компании было выпол-

нено более сотни опытно-методических работ. Разработчикам удалось сократить количество элементов системы управления по сравнению с основными конкурентами («Inova», «Sercel»), что повысило надежность блока и уменьшило его стоимость. Фактически многие элементы системы были заменены «математикой», для чего в блоках предусмотрен мощный высокопроизводительный процессор. За 20 лет было выпущено три версии системы управления: GDS-I*, GDS-I Plus*, GDS-II* (Geophysical Digital System). На сегодняшний день GDS-II* (Рис. 59) — это многофункциональные геофизические цифровые системы управления, совместимые с любыми видами систем регистрации (включая бескабельные) и любыми вибрационными источниками, оснащенные всеми современными средствами коммуникации, включая встроенные GPS/GLONASS приёмники. Без преувеличения можно сказать, что на данный момент система GDS-II* не имеет аналогов по производительности, математическому обеспечению и функционалу. В блоке управления реализованы все возможные методики повышения производительности полевых сейсморазведочных работ (Flip flop, Slip sweep, Distance separated методы (DSSS), Dithered shooting, Shuffle*, HFVS, ISS), методики повышения качества и информативности сейсмических данных (АВИСейс*, BroadSweep*, Shuffle*, Low-Dwell, Q-sweep*). Кроме того в блоке управления реализована возможность задания оператором управляющего сигнала любой формы и запись сигналов вибратора на USB flash для специальной обработки и контроля качества. Так же БУСВ способен работать по технологии



▲ Рис. 59. БУСВ GDS-II («НПП «Спецгеофизика») [63].

«комби-свип», которая применялась еще в СССР для повышения разрешающей способности сейсмических данных. Данную технологию активно развивал в Советском Союзе и современной России доктор технических наук Ю.П. Кострыгин.

Заключение

В начале своего развития метод «Вибросейс» существовал как дополнение к основным средствам возбуждения в сейсморазведке. Усовершенствование вибрационных источников – увеличение усилий (массы) и расширение частотного диапазона – позволило методу «Вибросейс» стать уникальным и универсальным инструментом в руках геофизиков. Дальнейший путь развития вибрационных технологий видится в переходе на сверхмногоканальные апертуры 3D съемок, в уменьшении шага между приемниками, в «зеленой» сейсмике. Всё это в будущем позволит широко использовать бескабельную регистрацию. В технологическом аспекте это означает применение высокопроизводительных технологий (DSS, ISS, Shuffle* и т.д.) и возбуждение вибросигналов одиночными вибраторами по заранее

запланированным маршрутам. При этом система управления виброисточником (кроме выполнения стандартных функций возбуждения) превращается в систему управления и организации работ. С точки зрения экологических требований, особо перспективной представляется разработка малогабаритных источников, позволяющих как минимум уменьшить ширину прорубаемых просек. И конечно, необходимо наращивать интеллект систем управления. В этом смысле технология АВИСейс – только первая попытка в данном направлении. Оптимизация и автоматизация выбора управляемых сигналов применительно к поставленной задаче и площади работ, усовершенствование систем связи и коммуникации между участниками полевой съемки – вот те задачи, которые стоят перед разработчиками вибрационных технологий. Мы находимся только в начале пути использования потенциальных возможностей технологии «Вибросейс». Это замечательное и увлекательное дело для большого круга специалистов, позволяющее с помощью новейших достижений науки и техники поднять на новый уровень сейсморазведочные исследования.

Литература:

1. US2688124A патент США;
2. William Doty https://wiki.seg.org/wiki/William_Doty (дата обращения 28.07.2020);
3. Bay A. James, Stokoe H. Kenneth. Development of a rolling dynamic deflectometer for continuous deflection testing of pavements. Austin: The University of Texas at Austin, 1998. 238 p.;
4. Шнеерсон М.Б., Потапов О.А., Гродзенский В.А. Вибрационная сейсморазведка. М.: Недра, 1990. 239 с.;
5. «Seismic Source Co»
[https://www.facebook.com/Seismic-](https://www.facebook.com/Seismic-Source-Co-123259181088093/)
[Source-Co-123259181088093/](https://www.facebook.com/Seismic-Source-Co-123259181088093/) (дата обращения 27.07.2020);
6. Tribute Archive
<https://www.tributearchive.com/obituaries/1711059/Don-Allen-Mertz> (дата обращения 19.07.2020);
7. Robert E. Sheriff. History of geophysical technology through advertisements in Geophysics // Geophysics, 1985. Vol. 50, №12. P.2299–2408;
8. Davis C. Geoffrey, Ballinger Steve. Application of Seismic Vibration Concepts for Rapid Mine Clearance and Detection / Proceedings of the Technology and the Mine Problem Symposium. Second in the Series of Sesquiannual Symposia..., 18-21 November 1996. Naval Postgraduate School, Monterey, California, 1996. P. 65–67;
9. Johnson F. James. Surface Sources of Seismic Energy Surface Sources of Seismic Energy / 7th World Petroleum Congress, 2–9 April, Mexico City, Mexico, 1967.
10. Gaiser James. 3C Seismic and VSP: Converted waves and vector wavefield applications. Distinguished Instructor Short Course. Distinguished Instructor Series, №19, 2016;
11. John Crawford
https://wiki.seg.org/wiki/John_Crawford (дата обращения 20.07.2020);
12. Geophysik im Deutschen Erdölmuseum Wietze, März 2009;
13. Gouda Geo-Equipment B.V.
[https://www.gouda-geo.com/products/10/no-cat/203,Mertz_M10-601_Vibrator_\(2_nr.\)](https://www.gouda-geo.com/products/10/no-cat/203,Mertz_M10-601_Vibrator_(2_nr.)) (дата обращения 25.07.2020);
14. By Lutz Bruno – Own work, CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=13130626>
15. Излучение и прием вибросейсмических сигналов. Вып. 1. Исследование Земли вибрационными источниками / Сбор. науч. трудов под ред. И.С. Чичина. Новосибирск: ИГиГ, 1990. 180 с.;
16. Unusual off-road locomotion <https://www.unusuallocomotion.com/album/4x4-wheeled-articulated-vehicles-heavy/mertz-seismic-vehicle-m18-612.html> (дата обращения 17.07.2020);

17. QUARTERY PROGRESS REPORT «Modeling CO2 Sequestration in Saline Aquifer and Depleted Oil Reservoir to Evaluate Regional CO2 Sequestration Potential of Ozark Plateau Aquifer System, SouthCentral Kansas». Recipient: University of Kansas Center for Research & Kansas Geological Survey. Project Director/Principal Investigator: W. Lynn Watney, Principal Investigator: Jason Rush, 2011;
18. Техническая спецификация модели MERTZM25/606;
19. Liat R. Shindler (Zion geophysicist) in front of 30 ton Mertz Vibroseis Vehicle <https://www.zionoil.com/updates/zion-late-summer-update/> (дата обращения 18.07.2020);
20. Martin Dianne. Grapevine // RECORDER. Official publication of the Canadian Society of Exploration Geophysicist. Feb. 1997, Vol. 22, №02
<https://csegrecorder.com/columns/view/grapevine-199702> (дата обращения 10.07.2020);
21. Foremost
<http://www.foremost.ca/foremost-mobile-equipment/tracked-vehicles/nodwell-320/> (дата обращения 20.07.2020);
22. <https://twitter.com/bibken/status/1133405157323001857> (дата обращения 20.07.2020);
23. Richard Davis Photography
<http://www.richarddavisphotography.com/tag/birdwagen-mark-iii/> (дата обращения 14.07.2020);
24. GSH Geoscience Center (Geoscience Center & Museum), 1790 W Sam Houston Pkwy N., Houston, TX 77043.
http://geocenter.gshtx.net/pdf/GSH-Inventory_10-30-19.pdf (дата обращения 17.05.2020);
25. GG 4540 April 29, 2008, Reflection Field Methods
<https://slideplayer.com/slide/5083315/> (дата обращения 13.07.2020);
26. Industrial Vehicles International (IVI)
<http://indvehicles.com/index.html> (дата обращения 10.05.2020);
27. Monster Truck Will Shake New Zealand for Safer Buildings
<https://www.livescience.com/26685-shaker-truck-new-zealand-trip.html> (дата обращения 13.07.2020);
28. Charles C. Bates, Thomas F. Gaskell, Robert B. Rice. Geophysics in the Affairs of Man: A Personalized History of Exploration Geophysics and Its Allied Sciences of Seismology and Oceanography. Elsevier, 2016. 512 p.;
29. Корпоративный журнал «WesternProfile». Вып. Fall, 1975 г.
<https://media.seg.org/documents/WesternProfile/1975FallWesternProfile.pdf> (дата обращения 24.07.2020);
30. Jacques G. Jenny. High Resolution Seismic Reflection: Practical basis. Geo2X Sarl GEOPHYSICS & GEOLOGY, 2013. 99 p.
31. Geophysical vibrator vehicle, 1982 LITTON RESOURCES SYSTEM
<https://www.1ststrike.com/auction/560/item/geophysical-vibrator-vehicle-1982-litton-resources-system-model-trt-311-detroit-diesel-motor-hydraulic-winch-sn4902-hrs3774-23556/> (дата обращения 16.07.2020);
32. «Western Geophysical SG»
https://www.facebook.com/pg/westerngeo/photos/?ref=page_internal (дата обращения 19.07.2020);
33. Корпоративный журнал «WesternProfile». Вып. Spring, 1987 г.
<https://media.seg.org/documents/WesternProfile/1987SpringWesternProfile.pdf> (дата обращения 24.07.2020);
34. Корпоративный журнал «WesternProfile». Вып. Winter, 1989 г.
<https://media.seg.org/documents/WesternProfile/1989WinterWesternProfile.pdf> (дата обращения 24.07.2020);
35. <http://i202.photobucket.com/albums/aa135/Surfbugger/TCH-427.jpg> (дата обращения 22.07.2020);
36. INOVA
<https://www.inovageo.com/products/ahv-v-titan> (дата обращения 10.07.2020);

37. Dr. Erlinghagen. «VIBROSEIS». PRAKLA-SEISMOS DIGEST, volume2, Data Acquisition and Field Techniques, Extracts from PRAKLA-SEISMOS Reports 1971–1977.

38. http://www.wdiehl.de/PS/Download/Sonderdruck/OCR/Sonderdruck_Digest_Volume_2_Data_Acquisition_and_Field_Techniques.pdf#pagemode=thumbs (дата обращения 15.07.2020);

39. Ruijie Zhang1. Applications of Broadband Land Seismology Search and Discovery Article. AAPG Middle East Geosciences Technology Workshop, 2017 <https://manualzz.com/doc/27865848/applications-of-broadband-land-seismology> (дата обращения 20.07.2020);

40. НЕФТЕГАЗПРОГРЕСС. Станция вибро-сейсмической разведки серии KZ http://www.neftegazprogress.ru/China/S/Station_KZ.html (дата обращения 14.07.2020);

41. Юшин В. Как военмеховец оказался геофизиком

<http://www.voenmeh.com/memo2.php?part=1> (дата обращения 11.07.2020);

42. Федеральное государственное бюджетное учреждение культуры «Государственный музей политической истории России». Инвентарный №: Ф.III-38728. <https://goskatalog.ru/portal/#/collections?id=4980226> (дата обращения 19.07.2020);

43. Караев Н.А. Становление и пути развития сейсморазведки нетрадиционных моделей верхней части коры и возможности современных сейсмоакустических технологий в руднопоисковых провинциях // Технологии сейсморазведки, № 4, 2017, с. 5–36;

44. ТОО «Элгео»

<http://www.elgeo.kz/vibroiseis.shtml> (дата обращения 26.07.2020);

45. Евразийский союз ученых. Кодо-импульсный сейсмоисточник с повышенной частотой возбуждения сейсмических волн <https://euroasia-science.ru/tehnicheskienauki/kodo-impul'snyj-sejsmoistocnik-s-pov/> (дата обращения 15.07.2020);

46. Негатив. «Сейсмический метод поисков нефтяного месторождения. Техника, производящая взрыв в приповерхнос-

тной зоне». Местонахождение – Государственное бюджетное учреждение культуры «Калининградский областной историко-художественный музей»;

47. Все об испытательных машинах <http://www.testmachines.ru/evolution/vibration-exciter.html> (дата обращения 05.07.2020);

48. ОАО «Сейсмотехника». История <https://seismo.by/ru/history> (дата обращения 30.06.2020);

49. Assessment of Seismic Hazard of a Territory (by V.B. Zaalishvili)

https://www.researchgate.net/publication/300630963_Assessment_of_Seismic_Hazard_of_a_Territory (дата обращения 05.07.2020);

50. ОАО «Сейсмотехника». Вибрационный источник сейсмических сигналов СВ-30/150М <https://seismo.by/ru/vibratsionnyie-istochniki-seysmicheskikh-signalov> (дата обращения 30.06.2020);

51. Источник сейсмических сигналов CBC24/PC27

https://www.vezetvsem.ru/prochie_gruzy/gyda_norilsk_gruzoperevozki_svs24rs27_chastniki_1091707 (дата обращения 19.07.2020);

52. РОСГЕОЛОГИЯ. Сейсмические методы полевых работ

<https://www.rosgeo.com/content/seismic-heskie-metody-polevyh-rabot> (дата обращения 13.07.2020);

53. Завод «СПЕЦМАШ». Проектирование, Производство, Поставка

https://autospecmash.ru/catalog/spetstekhnika-kamaz/neftegazodobyvayushchaya-tehnika/seismorazvedochnaya_vibratsionnaya_ustanovka/ (дата обращения 20.07.2020);

54. Русская сила. Современное оружие <http://русская-сила.рф/> (дата обращения 27.07.2020);

55. АО «Башнефтегеофизика»

https://www.bngf.ru/press-center/news/5962/?sphrase_id=23018 (дата обращения 19.07.2020);

56. «Батыр» пришел на помощь. Оборудование для сейсморазведки, производимое в Уфе, заменило импортные аналоги [54](https://rg.ru/2019/02/19/reg-</p>
</div>
<div data-bbox=)

pfo/bashneftegeofizika-razrabotala-unikalnoe-oborudovanie.html (дата обращения 17.07.2020);

57. «Industrial Vehicles International»
<http://www.indvehicles.com/EnviroVibe2.html>
 (дата обращения 02.07.2020);

58. INOVA
<http://www.inovageo.com/products/category/source-products/controllers> (дата обращения 27.06.2020);

59. «Seismic Source»
<http://seismicsource.com/html/products/sourcecontrol/force3> (дата обращения 30.06.2020);

60. «Seismic Source»
<http://seismicsource.com/html/old-products/force2> (дата обращения 30.06.2020);

61. «Sercel»
<http://www.sercel.com/products/Pages/vibrators-electronics.aspx> (дата обращения 30.06.2020);

62. ОАО «Сейсмотехника»
<https://seismo.by/ru/sistemyi-upravleniya>
 (дата обращения 30.06.2020);

63. ООО «НПП «Спецгеофизика»
http://nppspeggeo.ru/ru/products/gds_vcs/
 (дата обращения 30.06.2020).

Подробнее об авторах



Жуков А.П.

генеральный директор
 ООО "Геофизические
 системы данных",
 д.т.н.



Горбунов В.С.

Заместитель генерального
 директора
 ООО «НПП
 «Спецгеофизика»