

О развитии технических средств регистрации сейсмического сигнала и вибрационной сейсморазведки.

Часть 2. Технология «Вибросейс». (Начало)

■ Жуков А.П., Горбунов В.С., ООО «Геофизические Системы Данных»

В предыдущем выпуске мы начали подробный и увлекательный экскурс в историю развития технических средств сейсморазведки и проследили эволюцию систем регистрации сейсмического сигнала. Настоящая статья является продолжением начатого обзора и посвящена развитию вибрационных сейсмических источников.

«Вибросейс». В 1951 году компания «Continental Oil Company» («Conoco») сформировала в своей структуре исследовательскую группу геофизиков под руководством Джона Кроуфорда. Кроуфорд собрал замечательный научный коллектив: Билла Доти, Адриана Беккера, Хью Эванса и Джеймса Гейба; чуть позже к ним присоединился Милфорд Ли и другие. В 1952 году группа Кроуфорда избрала свое направление исследовательской деятельности – разработку нового способа возбуждения сейсмических сигналов. В это время Билл Доти посетил в Массачусетском технологическом институте семинар, посвященный теме усовершенствования chirp-радаров и chirp-гидролокаторов, разработки которых уже были рассекречены к тому времени. Chirp-технология является разновидностью эхо-зондирования, но, в отличие от последнего, здесь применяется частотная модуляция сигнала. Собственно говоря, понятие «sweeper» по смыслу является аналогичным «chirp». Б. Доти осознал потенциал частотной модуляции для формирования сигнала с целью зондирования земной толщи. Было принято решение создать альтернативу взрывному способу возбуждения сейсмических сигналов – электрический источник, способный генерировать

частотно-модулированный сигнал. В 1953 году коллектив под руководством Билла Доти, Джона Кроуфорда и Милфорда Ли начал разрабатывать новый способ возбуждения сейсмических сигналов, получивший название «Vibroiseis» («Вибросейс»). В 1954 году компания получила патент [1] на новый метод и многие годы была эксклюзивным владельцем «Вибросейс», вложив огромные средства в создание метода. Пять лет спустя второй патент был выдан Биллу Доти и Милфорду Ли. С тех пор «Вибросейсом» называют все сейсмические работы с использованием электрогидравлических вибраторов [2, 3].

При разработке нового метода нужно было решить три основные задачи. Первая состояла в разработке источника, который мог бы излучать контролируемую развертку сигнала. Вторая задача – разработка системы управления, способной управлять одновременно несколькими источниками, которые должны работать синфазно на протяжении всей развертки. Третья задача заключалась в разработке средств для приведения виброграмм к импульсному виду. Сегодня решение последней задачи кажется простым, однако в середине 50-х годов разработчики имели под рукой только аналоговые инструменты, что существенно усложняло процесс корреляции. Значения снимались вручную через равные промежутки в 3 мс. Например, с 10-канальной односекундной записи требовалось снять более 3000 индивидуальных значений положения сигнала, а поскольку испытаний производилось достаточно много, то снятие значений с виброграммы и развертки занимало

колоссальное время и огромные трудозатраты. Тем не менее, результат корреляции со временем стал совпадать с взрывными данными. Первые опыты показали, что заданный вектор исследования был выбран верно.

В то же время разработчики сталкивались с множеством проблем, например, с несинхронностью первых вибраторов, которые были эксцентриковыми (по типу появившихся позже в СССР «ВСК» и «Вибролокатор»). Основная проблема такого типа вибраторов (Рис. 1) заключалась в том, что вращающиеся в разных направлениях грузы, передающие энергию вибрационного воздействия в землю, выходили из равновесия, создавая сильную вибрацию. Изменение частоты вибрации происходит за счет изменения скорости вращения грузов – эксцентриков, а при увеличении частоты активная сила растет пропорционально квадрату линейной скорости вращения эксцентриков. Одним из способов устранения этого эффекта является ограничение верхней частоты. Но на первых этапах создания вибрационной установки специалисты «Сопосо» не смогли найти достаточно эффективных способов поддержки эксцентриков в равновесии, кроме регулировки скорости вращения весов [4]. Поэтому первые прототипы вибрационных установок размещались исключительно на тяжелых стальных платформах,

▼ Рис. 1. Эксцентриковый вибратор конца 50-х начала 60-х годов [5].



а позже – на прицепах с металлическими и резиновыми катками. Такая конструкция приводила к еще одной проблеме – плохому контакту плиты вибратора с поверхностью земли.

Другая проблема заключалась в том, что сигнал развертки источника формировался механически, путем открытия/закрытия дроссельной заслонки двигателя, то есть частота вибрации напрямую зависела от степени нажатия на педаль акселератора – чтобы увеличить частоту, нужно было больше открыть заслонку. Фактически первые вибрационные сигналы были нелинейными из-за невозможности контролировать модуляцию, и нужно было записывать отдельный сигнал для каждого воздействия. Таким образом, для того, чтобы получить две одинаковые развертки, назрела необходимость разработки вибраторов, которые могли бы приводиться в действие синхронно с заранее записанным сигналом. Разработчики решили эту проблему использованием гидравлического клапана, работа которого контролировалась электрическим сигналом. Под воздействием электрического тока гидравлический клапан перемещал жидкость под высоким давлением с большой скоростью и высокой точностью; это дало возможность производить синхронное возбуждение группы вибраторов с одинаковым сигналом.

В 1957 году прошли первые испытания прототипа сервогидравлического вибратора. В 1958 году Кроуфорд и Доти открыли миру «Вибросейс», рассказали о результатах своих экспериментов, и в том же 1958 году были проведены синхронные испытания четырех сервогидравлических источников. К 1959 году опытные образцы сейсмических вибраторов были доведены до эксплуатационного состояния.

В 1971 году «Сопосо» прекратила действие своего патента на «Вибросейс» раньше срока [1]. Это позволило не лицензиатам «Сопосо» производить вибрационные источники, что положило начало широкому распространению технологии вибрационной сейсморазведки для изучения земных недр.

Очевидно, что любой крупной компании нецелесообразно иметь полный производственный цикл, и «Сопосо» не была исключением. Она получала комплектующие для метода «Вибросейс» от таких подрядчиков как «George E. Failing Co.» и «Mertz Inc.», а также от «Pelton» – поставщика электронных компонентов (включая системы синхронизации) и другие компании.

«Mertz», «AMG», «Sercel». Обзор развития вибрационных сейсмических источников целесообразно начать с истоков – компании «Mertz», и закончить продукцией компании «Sercel» как продолжателя традиций «Вибросейс». Успех «Mertz» связан в первую очередь с именем президента компании Дона Аллена Мерца, владевшего ей с 1948 по 1996 год. В 1948 году Дон и его брат Форрест приобрели у своего деда механическую мастерскую, основанную еще в 1927 году в городе Понка (Оклахома). Семья Дона сделала компанию «Mertz» всемирно признанным лидером и крупнейшим производителем сейсмических вибраторов [6].

Идеи «Вибросейса» исследовательской группы «Сопосо» во многом были воплощены в сейсмических вибраторах «Mertz». Первые модели гидравлических вибраторов имели кормовую компоновку вибрационного узла (Рис. 2) с максимальным усилием 4,5–5 тонн и рабочий диапазон частот 8–50 Гц.

В 1961 году была разработана система обратной связи, которая минимизирова-



▲ Рис. 2. Кормовое расположение виброузла (1962 г.) [7].

ла влияние вариаций в контакте с землей, уменьшая искажения в фазе сигнала. В середине 60-х вибрационный узел устройства был перемещен с кормы в центральную часть транспортного средства (Рис. 3), это позволило увеличить вес брутто на опорную плиту для улучшения сцепления с землей [8].



▲ Рис. 3. Центральное расположение виброузла [9].

Также в середине 60-х велись разработки вибрационного источника, способного генерировать поперечные волны (Рис. 4). В 1968 году были опубликованы результаты экспериментов с первым S-wave виброисточником [10].

▼ Рис. 4. Первый сейсмический вибрационный источник поперечных волн [10].



В 1969 году «Mertz» разработала новое поколение вибраторов – Model 8 (Рис. 5), а в 1970 были уже поставлены первые серийные экземпляры лицензиатам «Сопосо». Новые вибраторы имели расширенный частотный диапазон и пиковым усилием до 9,5 тонн. Ранние модели вибрационных узлов монтировались на грузоподъемных дизельных грузовиках. Например, общая масса грузовика International Harvester M623 6x4 с виброузлом «Model 8» составляла 16 тонн. [11].

В начале 70-х годов компания «Mertz» получила лицензию от «Сопосо» на производство и продажу вибрационных источников другим компаниям, став лидером в этом направлении на многие десятилетия. За более чем четверть века компания выпустила множество моделей вибраторов с различной колесной базой (грузовики, багги, гусеничные вездеходы), с различными частотными диапазонами и пиковым усилием воздействия, постоянно совершенствуя предшествующие модели.

В 70-е годы были выпущены следующие популярные модели: Mertz M9/605, Mertz M10/601 (максимальное усилие 14 тонн) представлен на Рис. 6, Mertz M11, Mertz M12/602 (Рис. 7) и 606 с пиковым усилием 20 тонн. Иногда в номенклатуре вибратора ставилось Р (продольные волны) или S (поперечные волны) и

▼ Рис. 5. Сейсмический вибратор «Mertz» Model 8 [12].



▲ Рис. 6. Сейсмический вибратор Mertz M10/601 [13].



▲ Рис. 7. Сейсмический вибратор Mertz M12P/602 [14].

дополнительные индексы, например, Mertz M12P/602A90.

С 1981 года «Mertz» выпускала сейсмические вибраторы под маркой «Universal vibrator». А 1982 год стал для «Mertz» в некотором роде юбилейным – компания выпустила свой 1000-й вибратор. Вообще 80-е стали для «Mertz» самыми плодотворными. В первую очередь стоит отметить очень удачную и популярную модель Mertz M18 «Universal Vibrator» – бестселлер своего времени (Рис. 8). Также осуществлялась перманентная модернизация модели M18, которая выпускалась в 80-е и 90-е годы в различных модификациях: Mertz



▲ Рис. 8. Сейсмический вибратор Mertz M18/612 [16].



▲ Рис. 9. Сейсмический вибратор Mertz M18S/612 [17].

M18P/612, Mertz M18S/612 (Рис. 9), M18/615, M18/616, M18HD/620 и др.

Кроме M18 в 80-х годах производились следующие популярные модели: горизонтальный вибратор Mertz M13S/609 (S-Wave, усилие 14 тонн), Mertz M14/613, модели M22/601, Mertz M22/613e (максимальное усилие 13,5 тонн) и MERTZ M25/606 (пиковое усилие 20 тонн) по соосной схеме на базе багги и тяжелого грузовика (Рис. 10).

▼ Рис. 10. Сейсмический вибратор MERTZ M25/606 [18].



▼ Рис. 11. Сейсмический вибратор Mertz M26HD [19].



В конце 80-х – начале 90-х появились «топовые» модели: Mertz M26/619 (пиковое усилие воздействия 27 тонн на продольных волнах и 15 тонн на поперечных), Mertz 26HD/623B (28 тонн) представлен на Рис. 11, Mertz M27/623B (22,8 тонн), Mertz M28 и M30/625.

В 1996 году компания «Société d'Etudes Recherches et Construction Electroniques» («Sercel») – дочерняя компания «Compagnie Generale de Geophysique» («CGG»), приобрела «Ateliers Mecaniques de saint-Gaudens» («AMG»), а в 1997 – «Mertz», тем самым консолидировав существовавшую научно-исследовательскую программу «Mertz» и «AMG». Таким образом, «Sercel» стала ведущим поставщиком вибраторов для сейсмической промышленности через свою линейку продуктов Sercel-Mertz [20].

Впоследствии было произведено и модернизировано еще несколько моделей под брендом «Mertz», например, M30/625 (с максимальным усилием 35 тонн, и частотным диапазоном 7-125 Гц), а также модель известная как DX80 (произведенная для «Western Geco», Рис. 12). Компания «Sercel» в течение пяти лет производила собственные вибраторы под брендом «AMG». У «Mertz» в основном были заимствованы виброузлы (возбудители вибрации), остальные комплектующие поставлялись из-за океана: шасси – Delta 2 и Nodwell 320 («Foremorst», Канада), сервоклапаны («Atlas»), двигатель («Detroit Diesel») и т.д. С началом производства Nomad 65 поддержка продукции «Mertz» прекратилась. На этом закончилась эпоха этого знакового производителя сейсмических вибрационных источников, и наступило время другого – «Sercel».

Компания «Sercel» под брендом «AMG» выпустила несколько известных



▲ Рис. 12. Сейсмический вибратор Mertz-Sercel M30/625 (DX80).

моделей: AMG P23/M27 (пиковое усилие 22,8 тонны) с частотным диапазоном 7–180 Гц и AMG P28/M28 (пиковое усилие 27 тонн) показаны на Рис. 13 и Рис. 14. Последний номер – модель вибрационного узла «Mertz».

«Sercel» продолжила развивать и совершенствовать вибрационные источники, используя многолетний опыт компании «Mertz» и оставаясь лидером в этом направлении отрасли. Только с 2002

▼ Рис. 13. Сейсмический вибратор AMG P23/M27 на базе «Foremost» Delta 2 vibrocarrier.



▼ Рис. 14. Сейсмический вибратор AMG P28 на базе «Foremost» Nodwell 320 [21].



по 2013 год было собрано 886 вибраторов, из которых 271 продано в Россию.

В 2002 году под брендом «Nomad» в продажу поступил первый в этой серии вибрационный источник с обновленным дизайном – Nomad 65 с максимальным толкающим усилием 27,6 тонны и частотным диапазоном 7–250 Гц. В 2004 году компания выпускает Nomad 90 (5–250 Гц). Через 10 лет «Sercel» выпускает обновленные Nomad 65 Neo (2014 г.) и Nomad 90 Neo (2015 г.) с улучшенными характеристиками. Без сомнения, из всех тяжелых вибраторов источники серии Nomad (Рис. 15 – Рис. 17) на сегодняшний день являются самыми популярными в мире.

«Failing». В контексте возникновения «Вибросейса» стоит вспомнить еще одного подрядчика «Сопосо» – «George E. Failing Company» – дочернее подразделение «Westinghouse Air Brake», а затем «Azcon Corp.». Компания выпускала

▼ Рис. 15. Сейсмический вибратор Nomad 65.





▲ Рис. 16. Сейсмический вибратор Nomad 90.



▲ Рис. 17. Сейсмический вибратор Nomad 65 Neo [22].

виброузлы, используя для своих моделей шасси других производителей, главным образом, «Foremost» и «Birdwagen». С момента появления «Вибросейса» компания выпустила несколько популярных моделей разных модификаций, которые используются и по сей день: Failing Y-900 (максимальное усилие 10,5 тонн), Failing Y-1100 (13,5 тонн), Failing Y-2400, Failing Y-2700 выпускались на платформах IVI «Birdwagen» Mark III, IV, на тяжелом грузовике «International» Paystar 6x6, «Foremost» Delta 2C vibrocarrier и на шасси трактора «Volvo» (Рис. 18 и Рис. 19).

Виброузел разработки «Failing» можно легко определить по специфической форме соединителя двух вертикальных держателей плиты вибратора.

Одним из крупнейших заказчиков компании «Failing» было геофизическое подразделение «Geosource» – «Petty Ray



▲ Рис. 18. Сейсмический вибратор Failing Y1100 на платформе Birdwagen Mark III (Ливия, 1990) [23].



▲ Рис. 19. Сейсмический вибратор Failing Y-1100 на шасси «Foremost» Delta 2C и грузовике «International» Paystar, (середина 70-х) [24].

Geophysical». Для этой компании вибраторы под маркой «Geogator Vibrator Geosource» выполнялись в ее цветах – красные с белыми элементами.

«Industrial Vehicles International» («IVI»). Компания «IVI» была основана в 1968 году. Направление деятельности компании до сих пор включает в себя производство машин и оборудования для использования на нефтяных и газовых месторождениях. Сейсмическое оборудование включает в себя наземные вибраторы, морские вибраторы и внедорожные багги. Основатель компании



▲ Рис. 20. Сейсмический вибратор Failing Y-900 на платформе Birdwagen MARK III (70-е годы) [25].

Джеймс Бёрд и подразделение Fluid Power Division «Bird-Johnson company» внесли огромный вклад в развитие «Вибросейса», в том числе и морского.

В первое время своего существования компания занималась разработкой передвижных средств для установки вибрационных узлов, поставляемых компанией «Failing». В начале 70-х годов была представлена популярная платформа-багги «Birdwagen» Mark III с шарнирным сочленением (Рис. 20). В после-

▼ Рис. 21. Сейсмический вибратор Hemi 50 на шасси Mertz.



▼ Рис. 22. Сейсмический вибратор Hemi 60 Buggy Vibe [26].



▲ Рис. 23. Сейсмический вибратор ATS60 [26].

дствие эта модель постоянно совершенствовалась и эксплуатировалась вплоть до 2000-х годов.

С середины 80-х «IVI» начинает производство собственных вибраторов серии Hemi. Компания выпускает Hemi 44 с максимальным усилием воздействия 20 тонн на базе тяжелого грузовика. В 1984 году «IVI» вводит в серию новую платформу «Birdwagen» Mark IV, на которой реализуется выпуск собственных вибраторов Hemi 50 (Рис. 21) и немного позже Hemi 60 (Рис. 22) с максимальным усилием 27,5 тонн, способного излучать частоты в диапазоне от 5 до 250 Гц.

Последней актуальной разработкой «IVI» является сейсмический вибратор ATS60 на платформе «Birdwagen» Mark 4C (Рис. 23). Отличительной чертой этой модели стала особая структура и форма плиты с улучшенными характеристиками и «расширенный» частотный диапазон 1–250 Гц с выходом на максимальную амплитуду на частоте 6.7 Гц.

▼ Рис. 24. Сейсмический вибратор S-wave вибратор «IVI» [27].



Обладая уникальной научной базой и группой высококлассных разработчиков, компания «IVI» является одним из лидеров в производстве сейсмических вибраторов, в том числе тех, которые способны генерировать поперечные волны (Рис. 24).

«Litton», «Input/Output», «Ion», «Inova». Еще одним «монстром» в области геофизики в целом и сейсмического приборостроения в частности была корпорация «Litton Industries» – детище Чарльза В. Литтона, выдающегося инженера-электрика. Вообще судьба дочерних предприятий, входивших в «Litton», очень интересна и достойна отдельного описания; здесь же кратко коснемся этого вопроса.

Компания «Western Geophysical» была основана Генри Сальватори в 1933 году как сервисная компания, параллельно производившая сейсморазведочное оборудование. «Western Geophysical» успешно развивалась благодаря деятельности самого Сальватори и других талантливых сотрудников – Гарольда Уошберна (партнера Сальватори), Дэниела Сильвермана, Карла Х. Савита и др. В 1960 году «Western Geophysical» становится дочерним подразделением «Litton Industries». А в 1970 году «Litton Industries» укрепляет лидирующие позиции «Western Geophysical» на рынке геофизических услуг путем приобретения компании «Digital Data Systems». В 1975 году «Digital Data Systems» переименована в «Litton Resources Systems» («LRS»). «LRS» расширило номенклатуру выпускаемой продукции, включая полный цикл производства сейсмических источников, регистрирующего, обрабатывающего, навигационного и кабельного оборудования. То есть «LRS» в структуре «Litton» занималась производством оборудования для «Western

Geophysical», которая в свою очередь проводила геофизические исследования. В 1987 году «Litton Industries» и «Dresser Industries» объединяют усилия путем слияния «Western Geophysical» и «Dresser Atlas» (подразделение основано в 1968 году) и создают совместное предприятие «Western Atlas». В 1994 году «Western Atlas» приобрела «HGS» («Halliburton Geophysical Services», ранее «GSI» и «Geosource») у «Halliburton Energy Services». В это же время «Western Atlas» продает подразделение геофизических электронных продуктов фирме «Input/Output, Inc» (основана в 1968 году). Это позволяет «Input/Output» («I/O») расширить линейку производимого сейсморазведочного оборудования, в том числе за счет производства вибрационных источников. Немного позже «I/O» сменила название на «ION Geophysical», а в 2010 году вместе с китайской компанией «BGP» создала совместное предприятие «INOVA Geophysical» по производству широкой номенклатуры сейсморазведочного оборудования.

Что касается «Western Atlas», то в 1998 году её купила компания «Baker Hughes», но уже в 2000 году «Schlumberger» выкупила 71% акций «Western Atlas» и присоединила к своему дочернему подразделению «Geco-Prakla». Объединенная компания была известна под названием «Western-Geco». В 2006 году «Schlumberger» полностью выкупает оставшуюся долю [28].

Итак, вернемся к вибрационным источникам. В середине 60-х годов «Western Geophysical» использовала для проведения сейсморазведочных работ вибраторы «Mertz». Но уже к 1967 году появились собственные разработки платформы-багги для виброузлов, а в



▲ Рис. 25. Сейсмический вибратор LRS с двумя виброузлами [29].

1969 году начался серийный выпуск вибраторов серии LRS. Также для производственных работ в 70-х годах «Western Geophysical» выпускала вибрационные источники на гусеничном шасси «Foremost» Nodwell, причем устанавливались два вибрационных узла – на носу и корме транспортной базы (Рис. 25).

В 1970-е годы в «LRS» разработали собственные багги-вибраторы на шасси под названием TRT и выпустили несколько моделей (АНВ 3, АНВ 4, АНВ 5, АНВ 6). В 80-х годах «LRS» добавили к номеру модели число 300, и с этого времени вплоть до 2019 года все вибраторы АНВ были 300-й серии. Самыми известными из ранних моделей 80-х годов были LRS-309 (Рис. 26), LRS-311, LRS-315 (Рис. 28), устанавливаемые на багги, гусеничные вездеходы и грузовики. На рисунке Рис. 27 представлен вибратор АНВ12-LRS (TRT) 311 1982 года выпуска с пиковым усилием 12,4 тонны.

▼ Рис. 26. Сейсмический вибратор LRS-309[30].



▲ Рис. 27. Сейсмический вибратор LRS (TRT) 311 [31].



▲ Рис. 28. Сейсмический вибратор LRS 315 на шасси International [32].

В 1984 году начались испытания любопытной модели «Лунного вибратора» Field System Vibrator (FVS) с пиковым усилием 27 тонн на шасси Delta «Foremost», который также назывался BBV (Broad-Band Vibrator). В 1987 году начинается серийный выпуск модели LRS-321 (АНВ-II), разработка которой осуществлялась еще в 1985 году. В LRS-321 (Рис. 29) традиционная сварная ходовая конструкция заменена на запатентованную ходовую конструкцию типа рулевой тяги. Последняя обеспечивала точную предварительную нагрузку и ее распределение всеми четырьмя опорами. Эта конструкция, наряду с прочной алюминиевой опорной плитой, позволяла добиться исключительной жесткости и низкого уровня

искажений выходного сигнала. Вибраторы «LRS» всегда проходили очень жесткие испытания в различных поверхностных условиях, что гарантировало качество продукции и механическую долговечность. Первый вибратор LRS, построенный в начале 70-х, обеспечивал лишь около одной четверти того усилия, которое имела модель LRS-321. Вибратор LRS-321, устанавливался на вездеходах TRT с пиковым усилием 28 тонн и на грузовиках 8х6 с пиковым усилием 25,4 тонны. В то же время продолжается сотрудничество с «Foremost». В Калгари налажено проектирование и производство вибраторов Marauder SF60 (BBV 6060).



▲ Рис. 29. Сейсмический вибратор LRS-321 [33].

Хитом выставки SEG в 1989 году была новая модель вибратора ANV-III (LRS-351) с пиковым усилием 23 тонны с рабочим частотным диапазоном 5-250 Гц [34].

В 1995 году «Western Atlas» продает свое подразделение «Exploration Products Group» компании «Input/Output» – на тот момент крупнейшему производителю сейсморазведочного оборудования. Тем самым «I/O» расширяет свое присутствие на рынке за счет покупки технологии производства вибрационных источников, сейсмических приемников и морских систем регистрации. Компания «I/O» полностью сохранила традиции производства вибрационных источников. В 1996 году на смену



▲ Рис. 30. Сейсмический вибратор ANV-III (PLS-362) [35].

устаревшему ANV-III (PLS-362), представленному на Рис. 30, выходит в серию новая модель ANV-IV (PLS-362) с усовершенствованной плитой, рамой и массой, но уже под брендом «I/O».

В 2000 году компания выпускает один из популярнейших вибраторов – Xvib ANV-IV PLS-362/380 (Рис. 31) с максимальным усилием 27,5 тонн (частотный диапазон 5-250 Гц).



▲ Рис. 31. Сейсмический вибратор Xvib ANV-IV (PLS-362/380).

В 2006 начинается производство ANV-IV Renegade PLS-380 (макс. усилие 35,5 тонн) для удовлетворения потребности отрасли в более мощных источниках. Следом, в 2009 году выпускается ANV-IV Commander PLS-364 (макс. усилие 27,5 тонн) с рабочим частотным диапазоном 5–250 Гц (Рис. 32). Для улучшения частотных характеристик на высоких и низких частотах были усовершенствованы механическая и гидравлическая систе-



▲ Рис. 32. Сейсмический вибратор AHV-IV Renegade (PLS-380).

мы, включая сервоклапаны.

После десятилетнего перерыва в 2019 году уже «INOVA» выпускает тяжелый 35,5 тонный вибратор AHV-V TITAN PLS-480 (4-130 Гц), показанный на Рис. 33. Заявленная производителем амплитуда хода массы (17,7 см) должна обеспечить генерацию низкочастотных сигналов.



▲ Рис. 33. Сейсмический вибратор AHV-V TITAN PLS-480 [36].

«Prakla-Seismos». Единственная западноевропейская компания, которая имела собственное производство сейсмических вибраторов, была «Prakla-Seismos» (с 1993 года – 100% дочернее подразделение «Schlumberger» – «Geco-Prakla»). Вибрационные источники производились в подразделении компании «Geomechanik», находившемся в немецком городе Итце (Uetze). «Вибросейс» был внедрен в «Prakla-Seismos» по инициативе доктора Х.В. Мааса. Примерно в середине 60-х годов в «Geomechanik» начали производить собственные

оригинальные вибраторы, например, модель на базе грузовика VVBB или пришедшая ему на смену в 1977 году модель VVDA (максимальные усилия воздействия 8,5, 10,4 и 12,5 тонн, с частотным диапазоном 6–116 Гц), представленная на Рис. 34. В компании произвели принципиальное усовершенствование конструкции – смещение плиты виброузла к центру тяжести транспортного средства. Оригинальную конструкцию в компании называли «краб». Таким образом, получилось значительно увеличить прижим плиты и давление на грунт. Кроме того, эта новая разработка оказалась более надежной в эксплуатации, чем американские модели вибраторов. Кстати, «Prakla» – одна из первых компаний, которая ввела цифровое управление разверткой. На вибраторах «Prakla» было воплощено множество запатентованных оригинальных решений, например, пневмоопоры собственной конструкции [37].



▲ Рис. 34. Сейсмический вибратор VVDA [37].

В 70-90-х годах была выпущена целая серия различных моделей вибраторов VV усилием от 8 до 20 тонн с множеством вариантов частотных диапазонов: VVBB, VVCA (Рис. 35), VVDA, VVCB, VVCS, VVCA/C, VVCA/E, VVCA/S (S-волны), VVEA, VVFA, VVFB и VVFC. Во второй половине 90-х годов производство вибраторов было прекращено.



▲ Рис. 35. Сейсмический вибратор VVCA [38].

BASV(KZ). В Китайской Народной Республике собственное производство вибрационных источников было налажено в конце 70-х годов под маркой KZ (номер модели – максимальное усилие в тоннах): KZ-7 (1978 год), KZ-13 (1982 год), KZ-20 (Рис. 36, 1986 год), KZ-23/2000 (1996 год), KZ-28 (Рис. 37). За основу KZ была взята модель Mertz M18 – самая удачная и массовая модель своего времени. В настоящее время динамично развивается китайская линейка действительно низкочастотных (1,5–160 Гц) Р- и S-вибраторов: KZ28LF (Рис. 38, 2009 год), EV-56 (Рис. 39, макс. усилие 25,4 тонны) и KZ-34 с максимальным усилием 39 тонн [39].

▼ Рис. 36. Сейсмический вибратор KZ-20 [40].



▼ Рис. 37. Сейсмический вибратор KZ-28 [40].



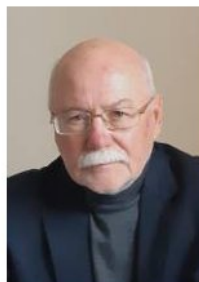
▲ Рис. 38. Сейсмический вибратор BASV BV620LF (KZ28 LF/ KZ28LFV3) [39].



▲ Рис. 39. Сейсмический вибратор BASV EV56 [39].

Окончание части второй статьи читайте в следующем номере журнала 4(67)/2020

Подробнее об авторах



Жуков А.П.

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



Горбунов В.С.

геофизик 1 категории
ООО "НПП
"Спецгеофизика"