

Совершенствование сейсмического вибратора продольных волн для повышения разрешенности сейсморазведки

Zhouhong Wei (ION)

Введение

Чтобы улучшить сейсмическое изображение среды, особенно при разведке малоамплитудных ловушек, перекрытых сложнопостроенной покрывающей толщей, необходимо возбуждение широкополосного повторяемого сигнала, на который не оказывает влияния изменчивость верхней части разреза (ВЧР). Следовательно, необходимо улучшать параметры сейсмического источника. При вибрационной сейсморазведке разрешенность получаемых изображений среды можно повысить за счет расширения полосы частот свип-сигнала, улучшения повторяемости формы возбуждаемого сигнала и снижения гармонических искажений, создаваемых источником. В известных конструкциях вибраторов есть механические ограничения, которые нужно преодолеть для решения перечисленных проблем. В особенности важно преодолеть проблемы в функционировании вибраторов, возникающие при расширении частот свип-сигнала в сторону низких и высоких частот, что в первую очередь необходимо для повышения разрешенности.

Как прочные, так и слабонесущие грунты предъявляют дополнительные требования к конструкции вибраторов, поскольку при резкой изменчивости поверхностных условий трудно обеспечить хороший контакт опорной плиты с грунтом. При возбуждении свип-сигнала трудно избежать значительных гармонических искажений и изгибов плиты вибратора, что может приводить к плохой повторяемости излученного сигнала и неточному определению действительной выходной мощности вибратора.

При использовании обычных вибраторов из-за нелинейных эффектов в гидравлике и нелинейности свойств грунтов гармонические искажения возникают при передаче усилия на грунт от опорной плиты. Основная часть искажений относится ко второй и третьей гармоникам. Эти гармоники присутствуют в зарегистрированных полях в виде цугов коррелируемых помех, известных как гармонические спутники, и создают сложности на этапе обработки и интерпретации данных. Таким образом, улучшение параметров возбуждаемого свип-сигнала и снижение гармонических искажений — это ключевые задачи для конструкторов современных сейсмических вибраторов.

В упрощенной форме взаимодействие вибратора с грунтом представлено на Рис.1 в виде кривой второго порядка. Эта кривая отражает типичную характеристику в случае опорной плиты на песке. Резонансная частота f_0 зависит от общей массы $M_{\text{в}}$, являющейся суммой массы опорной плиты и вовлеченной в процесс массы грунта, и от жесткости грунта G_s . Обычно, эта кривая спадает в полосе частот

шириной от 15 до 35 Гц в зависимости от условий передачи усилия на грунт. Этот рисунок показывает, что вибратору легче генерировать свип-сигнал вблизи резонансной частоты типичными значениями от 15 до 50 Гц пределами этого частотного диапазона вибратору нужно работать на большей мощности, чтобы возбудить достаточную энергию. Однако частоты ниже 10 Гц вибратор не может обеспечить достаточное усилие из-за механических и гидравлических ограничений, таких как максимальный ход реактивной массы и сила, при которой происходит отрыв плиты от грунта. В результате выходной сигнал вибратора страдает от значительных гармонических

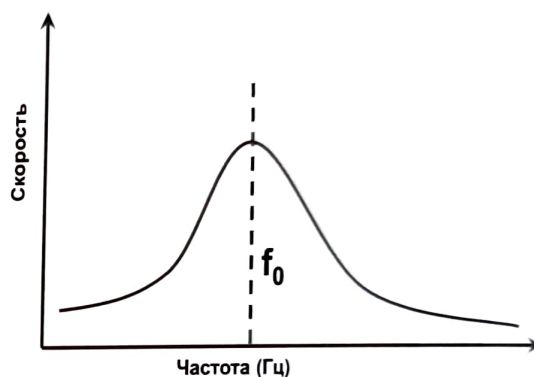
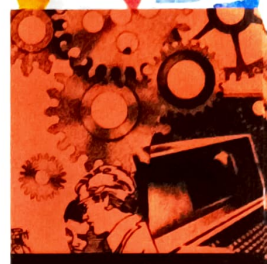


Рис.1. Типичная характеристика системы вибратор-грунт

искажений, и большая доля энергии вибратора превращается в корреляционные помехи, а не в полезный сигнал. Для более высоких частот, в диапазоне от 50 до 150 Гц, выходная мощность вибратора ограничена из-за узкой полосы частот сервоклапана и недостаточной жесткости опорной плиты. Конструирование вибратора с меньшими гармоническими искажениями и широкой полосой частот — это ключ к повышению глубинности исследований и разрешенности регистрируемых данных.

Сейсмический вибратор и усилие на грунт

Современный сейсмический вибратор — это, по существу, гидромеханическая система с сервоклапаном, управляемым электронным контроллером. На Рис.2 можно видеть схематическое сечение реактивной массы и опорной плиты, а также питающей гидравлической системы. Поршень, являющийся частью структуры опорной плиты, жестко соединен с прижимной плитой. Поршень перемещается в цилиндрическом стволе внутри реактивной массы и делит цилиндр на верхнюю и нижнюю камеры. Масло, подаваемое под большим давлением поочередно в верхнюю и нижнюю камеры, заставляет смещаться реактивную массу вверх и вниз. Сила, действующая на реактивную массу, равна, но противоположна по знаку силе, действующей на поршень. Эта сила передается на грунт через опорную плиту.



Усилие на грунт определяется как общая сила, переданная земле через опорную плиту вибратора. Усилие на грунт – это сила, с которой контактируют опорная плита вибратора и грунт. Для повышения разрешенности сейсмических изображений при расчете кросс-корреляционной функции с отраженными сигналами в дальней зоне поля необходимо использовать истинное усилие на грунт, а не теоретический свип-сигнал. Такое истинное усилие на грунт часто определяется как взвешенно-суммарная сила, использование точных значений которой помогает избежать помех корреляционного преобразования в получаемых записях.

Для измерения ускорений опорной плиты вибратора и реактивной массы используются акселерометры. Например, на вибраторе ANV-IV компании ION (ранее известной как I/O) один акселерометр смонтирован на крестовине опорной плиты, а другой – на верхней части реактивной массы. Положение акселерометров схематично показано на Рис.2. Саллас (1984 г.) представил способ взвешенной суммы для определения усилия на грунт (F_g). Усилие на грунт, определенное способом взвешенной суммы, можно получить путем суммирования

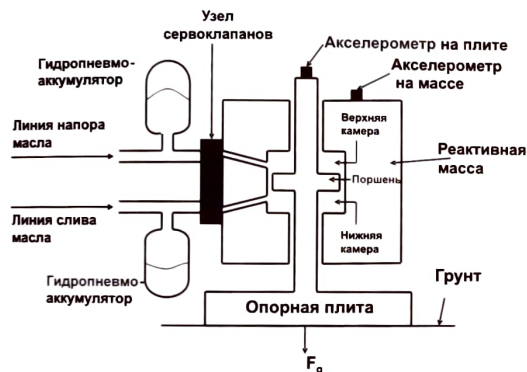


Рис.2. Схематическое сечение реактивной массы и опорной плиты вибратора

взвешенных ускорений опорной плиты и реактивной массы. В этом случае

$$F_g = M_r A_r + M_b A_b, \quad (1)$$

где M_r , M_b , A_r , A_b – это реактивная масса, масса опорной плиты, ускорение реактивной массы и ускорение опорной плиты соответственно. В этом способе допускается, что опорная плита работает как жесткое тело. К сожалению, обычно опорная плита является действительно жесткой лишь до частоты не более 50 Гц. Размещение акселерометров в различных точках опорной плиты позволяет увидеть, что они регистрируют различные колебания. Это означает, что способ взвешенной суммы аппроксимирует величину истинного усилия на грунт в узком диапазоне частот.

Поверхность земли достаточно неровная в большинстве случаев, поэтому при возбуждении свип-сигнала опорная плита не полностью контактирует с грунтом. Эти неравномерные нагрузки вызывают большие изменения в необходимой мощности гидравлической системы во время возбуждения свип-сигнала,

причем сервоклапан перенаправляет потоки масла в виброизлучатель, так что пиковая потребность в масле обычно изменяется от 0 до 250 галлонов в минуту (г/м) на нижних частотах свипа. Такие циклические изменения потребности в масле могут создавать высокoамплитудные флуктуации давления, в которых доминирует вторая гармоника. Они активно модулируют выходной поток сервоклапана вибратора и создают гармонические искажения в дифференциальном давлении по всему поршню в камере реактивной массы. Искаженное дифференциальное давление приводит к искажению ускорений реактивной массы и опорной плиты. В конечном счете, усилие на грунт, рассчитанное способом взвешенной суммы, осложнено гармониками.

В результате неполного контакта опорной плиты с грунтом создаются гармонические искажения, проявляющиеся в ускорении опорной плиты. Одновременно из-за неидеальной жесткости опорной плиты она генерирует вибрацию изгиба по мере роста частоты свип-сигнала. Нелинейность реакции грунта в ответ на колебания опорной плиты усиливается и проявляется в виде гармоник 2-го и 4-го порядка в ускорении опорной плиты. Эти гармоники в конечном счете искажают взвешенное усилие на грунт.

Для подавления описанных вибраций разработана новая конструкция реактивной массы. В этой конструкции полностью переделаны гидравлические системы и шланги, а также гидропневмоаккумуляторы, изменено распределение потоков масла в реактивной массе. В новой конструкции аккумуляторы находятся там, где они могут быть наиболее эффективны, и регулируют потоки так, чтобы не ограничивать их. Помимо этого, разработана новая опорная плита с повышенной жесткостью.

Система подачи давления

В типичном случае, гидравлическая система включает насосы, основной двигатель или дизель, масляный бак, регулятор давления, разгрузочные (аварийные) клапаны для обеспечения безопасности, гидравлические фильтры, охладитель масла и гидропневмоаккумуляторы. Давление по гидравлической системе передается через контрольные порты основной ступени сервоклапана и создает давление нагрузки или дифференциальное давление в поршне реактивной массы путем управления открытием основной ступени сервоклапана. Главное уравнение выглядит следующим образом (Мерритт, 1967 г.):

$$Q_L = Kx_v \sqrt{P_s - \frac{x_v}{|x_v|} P_L}, \quad (2)$$

где Q_L – нагрузка потока; K – коэффициент потока; x_v – раскрытие или смещение основной ступени сервоклапана; P_s – подаваемое давление; и P_L – давление нагрузки.

Теоретически, гидравлическая система поддерживает приблизительно постоянное давление величиной 3000 psi, в то время как максимальное давление в линии напора равно 3200 psi, а давление в линии слива равно 200 psi. Поскольку сервоклапан является четырехходовым

вым, то синусоидальная нагрузка создает питающий поток, поведение которого во времени очень похоже на синусоидальное напряжение после двухполупериодного выпрямителя. Такие синусоидальные волны содержат интенсивные гармоники 2-го порядка. Насос всегда расположен на некотором расстоянии от впускного отверстия сервоклапана, и пути подачи масла между ними создают ощутимое реактивное гидросопротивление. По своему физическому действию оно аналогично реактивному сопротивлению индуктивности в электрических цепях и стремится задержать передачу давления от насоса к впускному отверстию сервоклапана при флуктуациях потока масла. Этот эффект приводит к пульсациям подаваемого давления на впускном отверстии сервоклапана. В большинстве случаев аккумуляторы располагают вблизи сервоклапана, чтобы ослабить этот недостаток. Гидравлические аккумуляторы работают так, чтобы фильтровать пульсации давления от насосов, сглаживать гармонические колебания давления от сервоклапанов и обеспечивать дополнительное масло под давлением для удовлетворения пиковых потребностей гидроцилиндра. Эти фильтры могут снижать гармонические искажения в подаваемом давлении. К сожалению, во многих современных вибраторах на интересующих нас частотах аккумуляторы находятся слишком далеко от той точки, где они могут эффективно использоваться. Кроме того, высокочастотные флуктуации давления, создаваемые эффектом гидравлического удара при переключении клапана через ноль, присутствуют также и в

линиях напора и слива. Часто эти флуктуации настолько велики по амплитуде, что могут наступить кавитация, повреждающая рабочие поверхности золотниковой пары и другие компоненты вибратора, снижающая срок службы. Хорошо известно, что кавитация наступает тогда, когда давление в линии слива приближается к нулю. Кавитация вызывает образование пузырьков в масле, которые «схлопываются» внутри сервоклапана и могут быстро вывести его из строя. Это давно известная проблема в механической системе вибраторов.

Гармоники в подаваемом давлении напрямую влияют на давление рабочего органа. Уравнение (2) отражает взаимосвязь, существующую между подаваемым давлением и давлением нагрузки (давлением виброизлучателя). Гармоники в подаваемом давлении искажают давление виброизлучателя. Такая порочная цепь может вызвать сильную турбулентность потоков масла, которая приводит к ощущаемому на слух гудению в системе сервоклапана. В конечном счете, величина усилия на грунт оказывается искаженной.

Для преодоления этих флуктуаций подаваемого давления была разработана новая конструкция реактивной массы с более короткими линиями подачи масла и улучшенными гидропневмоаккумуляторами. На Рис. 3 показано сравнение стандартной и новой систем подачи давления на вибраторе АНВ-IV, возбуждающем линейный свип от 1 до 201 Гц за 20 с. Флуктуации подаваемого давления, кавитация и «провал» в начале свипа резко

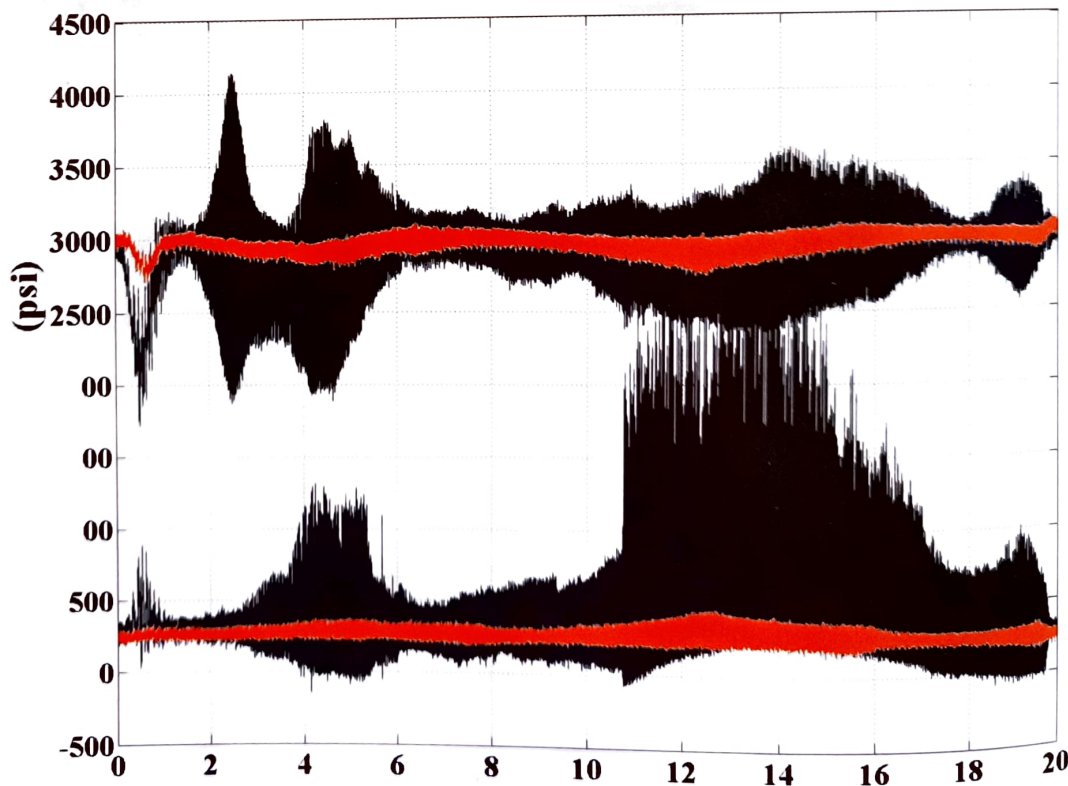


Рис.3. Пульсации давления (в линиях напора и слива)
-давление со стандартной реактивной массой
- давление с новой реактивной массой

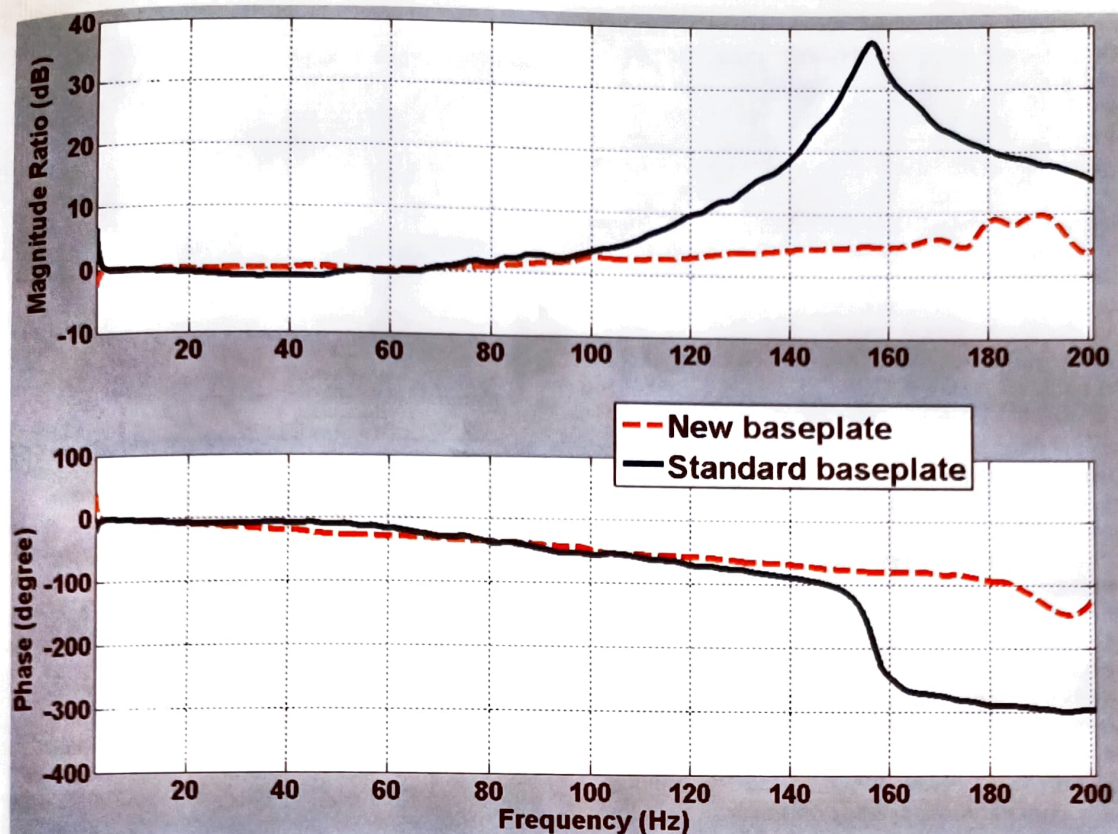
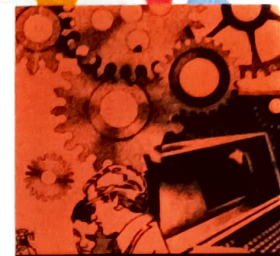


Рис.4. Частотная характеристика взвешенного усилия на грунт

— новая опорная плита
— стандартная опорная плита

уменьшились благодаря новой системе. В самом начале свип-сигнала «провал» в давлении (верхняя кривая) сокращен примерно в три раза. Кроме того, хорошо видно, что флуктуации и кавитация исключены практически на всем протяжении свипа. Кавитация проявляется как спад в давлении в линии слива ниже нуля, за которым идут высокоамплитудные всплески в давлении в линии слива из-за кавитационных импульсов. Флуктуации проявляются как высокоамплитудные осцилляции в стандартном подаваемом давлении (синие кривые). Эти выводы подтверждают предполагаемые преимущества новой конструкции. Важно отметить также преимущества в стабильности усилия на грунт на высоких частотах.

Изгиб опорной плиты вибратора

Взвешенная сумма ускорений опорной плиты и реактивной массы позволяет определить истинное усилие на грунт. Хорошо известно, что когда вибратор работает, его опорная плита подвержена изгибным вибрациям из-за неабсолютной жесткости. По мере увеличения частоты свип-сигнала, опорная плита изгибается и качается все сильнее. Акселерометры, размещенные в различных точках опорной плиты, запишут различные колебания. Эти паразитные движения усиливают отклик опорной плиты на нелинейность грунта и являются причиной того, что взвешенное усилие на грунт содержит много четных гармоник. В то же время, сложный характер колебаний и качаний опорной плиты вызывает турбулентные потоки в гидравлической системе и, в конечном счете, ведет к нестабильности работы узла

сервоклапана. Вибратор начинает дрожать. Следовательно, на высоких частотах справедливость взвешенной оценки усилия на грунт ставится под вопрос.

Теоретически, повышение жесткости опорной плиты вызывает снижение изгибной вибрации опорной плиты. Таким образом, повышение жесткости опорной плиты позволяет точнее оценить усилие на грунт способом взвешенной суммы в широком диапазоне частот. Более того, четные гармоники ускорения опорной плиты подчеркиваются слабее. Это позволяет использовать механическую модель, содержащую лишь массу, пружину и демпфер, для достаточно качественного описания отклика грунта в принятом частотном диапазоне. Такие параметры, несущие полезную информацию о свойствах грунта, как жесткость, вязкость и вовлеченная в контакт масса, могут быть правильно определены.

На Рис.4 показано сравнение спектров амплитуд и фаз усилия на грунт, рассчитанного способом взвешенной суммы, со спектрами усилия на грунт, измеренного датчиками нагрузки. Датчик нагрузки — это очень прочный датчик для прямого измерения усилия, и истинное усилие на грунт можно измерить с их помощью. Здесь сравнивается новая опорная плита и стандартная. Результаты такого сравнения, показанные на Рис.4, были получены с использованием 20-секундного свипа с диапазоном частот 1-201 Гц. Как видно, взвешенное усилие на грунт, измеренное для новой опорной плиты, обеспечивает гораздо более точное повторение взвешенного усилия на грунт

в смысле истинного усилия, испытанного датчиками нагрузки. Графики спектров амплитуды свидетельствуют о том, что взвешенное усилие на грунт при стандартной плите может аппроксимировать усилие на грунт, измеренное датчиками нагрузки при частотах ниже 80 Гц с использованием альтернативного определения полосы частот (где величина погрешности приближается к 3 дБ от уровня в 0 дБ). Фазовые спектры показывают, что со стандартной опорной плитой фаза взвешенного усилия на грунт отстает примерно на 90 градусов от измеренного усилия на грунт на частоте 80 Гц. При этом с новой опорной плитой способ взвешенного суммирования позволяет оценить измеренное усилие на грунт на частоте 160 Гц, и фаза приближается к -90 градусам на этой частоте. Как можно видеть, новая опорная плита обладает лучшими характеристиками и лучшим совпадением измерений, полученных способом взвешенной суммы и датчиками нагрузки.

Конструкция новой опорной плиты значительно повышает ее жесткость и резко снижает ее искривления. Новая опорная плита в 2,5 раза жестче, чем стандартная, и только на 5% тяжелее. Новая опорная плита улучшает контакт с грунтом в различных условиях, и вибратор работает более стабильно.

Сервоклапан и высокочастотный контрол-

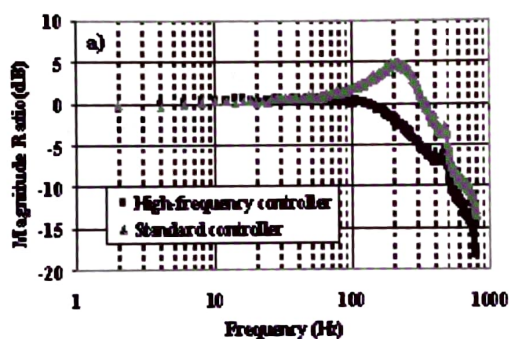


Рис.5. Частотная характеристика сервоклапана: а) амплитудно-частотная характеристика; б) фазово-частотная характеристика

тотного контроллера. Отношение амплитуд показано на Рис.5(а), а фаза — на Рис.5(б). Клапан Pelton DR отключен. При высокочастотном контроллере сильно демпфируется резонанс

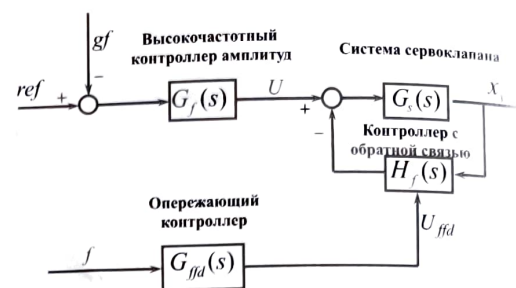
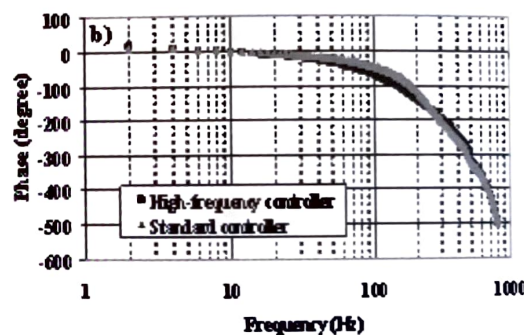


Рис.6. Гибридная управляющая система, обеспечивающая широкую полосу частот

ный пик на частоте около 200 Гц. С использованием альтернативного определения полосы частот (где величина погрешности достигает 3 дБ от нижней линии), полоса частот для замкнутого состояния продлевается до 200 Гц. В этом частотном диапазоне фаза сдвигается на 90 градусов, поэтому в системе фазового контроля, тем не менее, существуют ограничения по частоте. На Рис.5(а) показано, что резонансный пик на частоте 450 Гц подавлен. Это указывает на то, что очень высокочастотные резонансы



лер

Возбудитель современного сейсмического вибратора управляется гидравлическим сервоклапаном, состоящим из пилотного сервоклапана Moog 760-928A и главного сервоклапана Atlas 240H. Если это допускает управляющая электроника, между пилотным сервоклапаном и основной ступенью сервоклапана можно установить опциональный клапан Pelton DR. С этим добавлением основная ступень сервоклапана превращается из контроллера потоков в сервоклапан контроля давления. Следовательно, погрешности в определении амплитуды усилия и фазы становятся меньше, а контроль становится более точным. Помимо этого, резонанс опорной плиты и грунта демпфируется и оказывает меньшее влияние на контроль усилия и фазы, что выражается в снижении гармонических искажений.

На Рис.5 приведено сравнение частотной характеристики замкнутого сервоклапана стандартного контроллера и нового высокочас-

тотного контроллера.

На Рис.6 показана схема высокочастотного контроллера. Полный контроль системы сервоклапана, обозначенного как $G(s)$, осу-

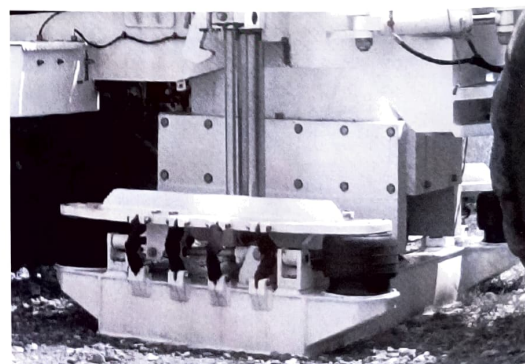


Рис.7. Вибратор на гравийном покрытии, полигон Сили в штате Техас

ствляется с помощью трех управляющих алгоритмов, реализованных в высокочастотном



МЕНЕДЖМЕНТ В ГЕОФИЗИКЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

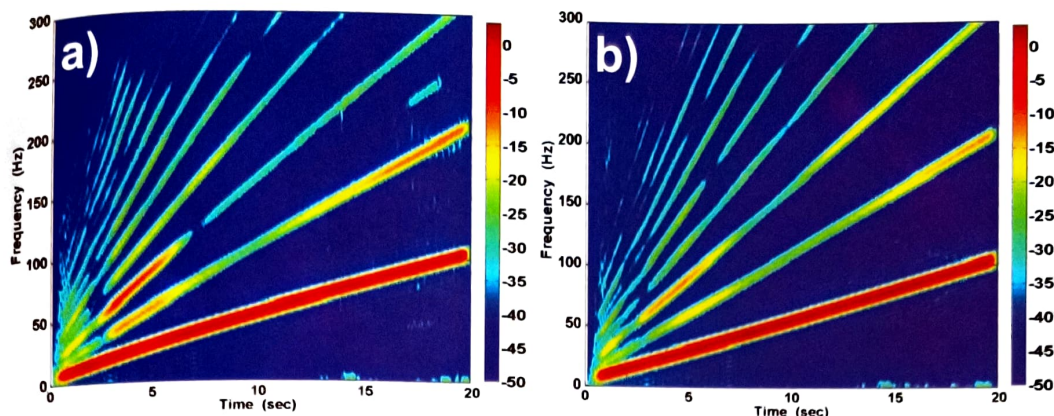


Рис.8. Частотно-временное представление взвешенного усилия на грунт: а) стандартный вибратор ANV-IV; б) вибратор ANV-IV с новой реактивной массой и опорной плитой

контроллер амплитуд $G_1(s)$, опережающем контроллере $G_{ph}(s)$ и контроллере с обратной связью $H(s)$. Во время калибровки, выполняемой до вибросейсмических работ, система сервоклапана автоматически стабилизируется контроллером с обратной связью. Когда вибратор работает, опережающий контроллер выдает переменное усилие, чтобы отрегулировать



Рис.9. Вибратор на цементном покрытии, полигон Сили в штате Техас

вать контроллер с обратной связью. Путем регулировки контроллера с обратной связью, высокочастотные резонансы в сервоклапане ослабевают. Величина регулировки зависит от частоты свип-сигнала. В новой конструкции достигается широкополосность системы

сервоклапана (Рис.5(а)).

Известно, что высокое усилие на низких частотах благоприятно для смягчения пульсаций давления. Низкое усилие на высоких частотах хорошо для снижения неустойчивости в работе системы. Эти принципы, примененные при конструировании высокочастотного контроллера амплитуд, подавляют высокочастотные резонансы, вызываемые изгибными деформациями опорной плиты.

Экспериментальные результаты

На Рис.7 показан один пример испытаний вибратора ANV-IV с новой реактивной массой и новой опорной плитой, опущенной на гравийную дорогу на полигоне компании ION в штате Техас. Вибратор управляется электроникой со встроенным высокочастотным контроллером. Гравийное покрытие имеет толщину около 10 дюймов (25 см). Гравий подстилают техасские черные глины. Опорная плита вибратора имеет хороший контакт с грунтом. Однако под опорной плитой все еще остаются небольшие области неполного контакта. Линейный свип возбуждался от 5 до 105 Гц в течение 20 с. при 75%-ном усилии.

На Рис.8 показаны графики (в частотно-временной области) измеренных усилий на грунт с использованием стандартного вибратора ANV-IV и вибратора ANV-IV с новой реактивной массой и опорной плитой. На гравийном покрытии наблюдается резкое снижение гармонических искажений на низких и средних частотах. Улучшение на высоких частотах

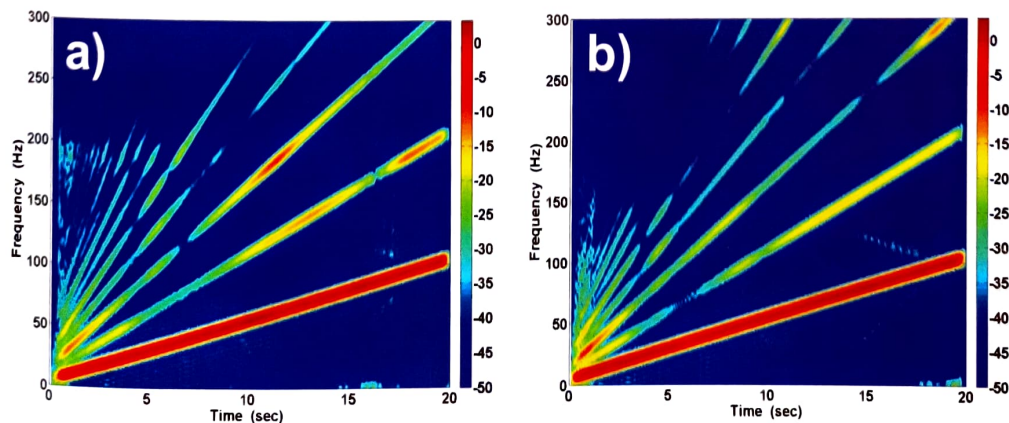


Рис.10. Частотно-временное представление взвешенного усилия на грунт: а) стандартный вибратор ANV-IV; б) вибратор ANV-IV с новой реактивной массой и опорной плитой



Рис. 11. Вибратор на датчиках нагрузки, полигон Сили в штате Техас

выражено в меньшей степени. В целом, отмечается улучшение однородности и постоянства усилия при новой реактивной массе и опорной плите. Как видно из рис. 8, уменьшается амплитуда каждой гармоники. Вторая и третья гармоники особенно чувствительны к изменению

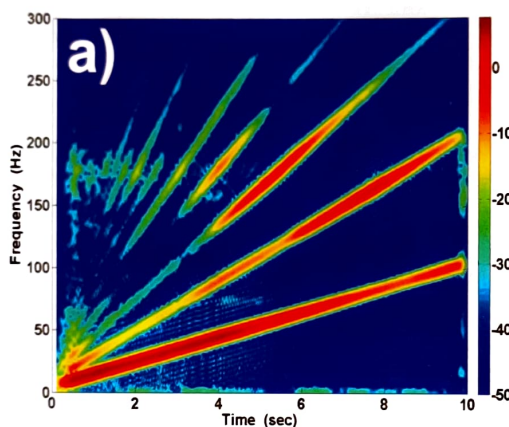


Рис. 12. Частотно-временное представление измеренного усилия на грунт: а) стандартный вибратор ANV-IV; б) вибратор ANV-IV с новой реактивной массой и опорной плитой

ям в конструкции вибратора.

На Рис. 9 показано тестирование в условиях крайне неравномерной нагрузки. В этом эксперименте одна часть опорной плиты была опущена на ровный цемент, а другая часть — на бордюр. В результате образовалась воздушная прослойка между частью плиты и поверхностью земли. Возбуждался линейный 10-секундный свип в диапазоне частот 5-85 Гц при 75%-ной мощности.

На Рис. 10 показаны атрибуты гармонических искажений усилия на грунт (в частотно-временной области). Эти атрибуты довольно схожи с соответствующими графиками, полученными при тестировании на гравийном покрытии. Общая однородность и постоянство усилия значительно улучшены. Еще более интересно то, что гармонические искажения заметно снизились почти на всех частотах среднего и высокочастотного диапазонов. Здесь наблюдается уменьшение величины каждой индивидуальной гармоники и, в особенности, отлично скомпенсирован общий уровень помех в начале и в конце свипа.

На Рис. 11 показан другой пример тестирования вибратора ANV-IV, расположенного на датчиках нагрузки, позволяющих измерить

истинное усилие на грунт. Всего под опорной плитой было 8 датчиков нагрузки, смонтированных на бетоне. Каждый датчик нагрузки был накрыт двумя кусками резины для предотвращения прямого контакта металлических элементов. В таких условиях опорная плита хорошо контактирует с датчиками нагрузки. Однако, площадь контакта очень мала. Опорная плита подвергается сильной изгибной вибрации и сложным качаниям. Возбуждался линейный 10-секундный свип в диапазоне частот 5-105 Гц при 70%-ной мощности.

На Рис. 12 представлены результаты измерения усилия на грунт (в частотно-временной области) с использованием стандартного вибратора ANV-IV и вибратора ANV-IV с новой реактивной массой и опорной плитой. На датчиках нагрузки для всех гармоник наблюдается резкое снижение интенсивности, особенно второй и третьей гармоник. На средних и высоких частотах наблюдались гармонические искажения. Гармоники и помехи на низких частотах заметно снизились. В то же время

однородность и постоянство фундаментального усилия значительно улучшены. В целом, с новой реактивной массой и опорной плитой достигаются отличные показатели.

На Рис. 13 представлены результаты измерения усилия на грунт (в частотно-временной области) с использованием стандартного вибратора ANV-IV и вибратора ANV-IV с новой реактивной массой и опорной плитой. В стандартном вибраторе ANV-IV использовалась стандартная управляющая электроника, а в вибраторе с новой реактивной массой и опорной плитой — управляющая электроника со встроенным высокочастотным контроллером. Кланан Pelton DR был установлен и активирован. Два этих вибратора были установлены на гравийном покрытии и возбуждали 20-секундный линейный свип от 5 до 250 Гц при 70%-ной мощности. Гравийное покрытие плоское, и опорная плита хорошо контактирует с грунтом. На Рис. 13(а) видно, что при стандартном контроллере осцилляции сервоклапана начинаются на 11-ой секунде при частоте около 150 Гц. В конце свипа, от 18-ой до 20-ой секунды (230 и 250 Гц соответственно), система сервоклапана совершенно нестабильна и создает сильные помехи. С другой стороны, Рис. 13(б)

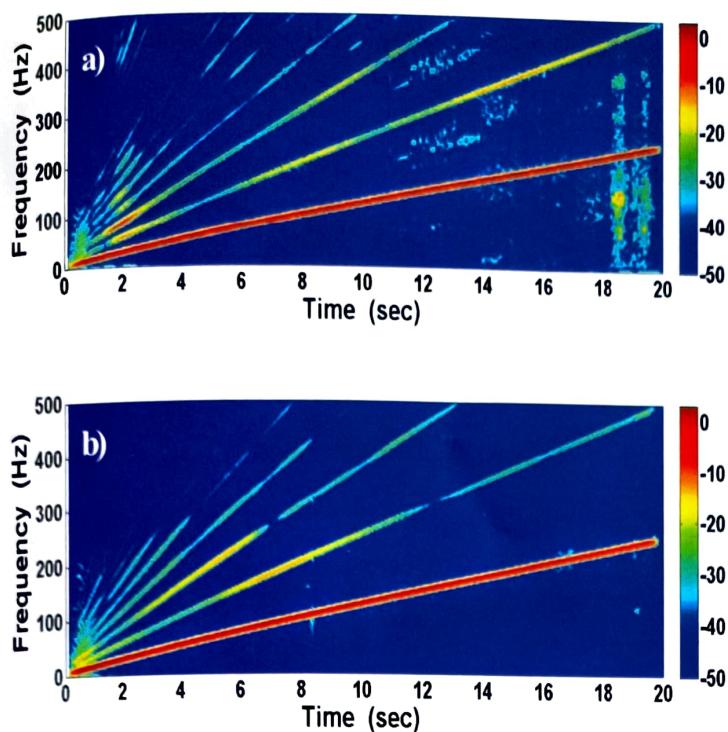


Рис.13. Частотно-временное представление взвешенного усилия на грунт на гравийном покрытии: а) стандартный вибратор ANV-IV; б) вибратор ANV-IV с новой реактивной массой и опорной плитой

показывает, что сервоклапан с высокочастотным контроллером стабилен для всего диапазона частот свип-сигнала. Более того, благодаря высокочастотному контроллеру фундаментальное усилие повышается, особенно на низких частотах. Гармонические искажения, особенно 2

вибратор работает на жестком и/или неровном грунте. Благодаря высокочастотному контроллеру, новая конструкция реактивной массы и опорной плиты обеспечивает высокое усилие на грунт в широком частотном диапазоне до 250 Гц.

и 3 гармоники, значительно ослабляются.

Выводы

В целом, конструкция, воплощенная в новой массе и опорной плите вибратора, значительно повышает качество выходного сигнала вибратора ANV-IV. Благодаря новой конструкции реактивной массы проблемы, которые долгое время были свойственны механическим системам вибраторов (флуктуации давления и кавитация), почти полностью исчезли. С новой опорной плитой взвешенное толкающее усилие позволяет аппроксимировать истинное усилие на грунт в частотном диапазоне до 160 Гц. В то же время наблюдается подавление четных гармоник, содержащихся в толкающем усилии, и эти преимущества наблюдаются в различных поверхностных условиях. Очень заметное уменьшение гармонических искажений достигается тогда, когда

В издательстве ЛКИ вышла книга: Б. С. Светова "Основы геоэлектрики", 647 с. Подробные сведения можно найти на сайте издательства www.urss.ru, там же можно заказать книгу.

Б. С. Светов

ОСНОВЫ ГЕОЭЛЕКТРИКИ

Светов Б.С.

Основы геоэлектрики

2008. Твердый переплет. 656 с Изд-во УРСС

В книге рассматриваются теоретические основы геоэлектрики — геофизического метода исследования строения Земли и происходящих в ней процессов, основанного на изучении электромагнитных (ЭМ) полей искусственного и естественного происхождения.

Отдельная глава посвящена электрофизическим и электрохимическим процессам в геологической среде естественного и искусственного происхождения. Она включает основы теории сейсмоэлектрических и поляризационных явлений в пористых и флюидонасыщенных средах (горных породах) и на контакте электронных и ионных проводников.

Обосновывается правомочность применения основных понятий и методов теории информации в геоэлектрике, показывается связь теории информации с теорией обратных задач геофизики, с информационной точки зрения сравниваются различные методы геоэлектрики и используемые в них возбуждающие сигналы, предлагаются критерии для информационной оценки измерительных устройств и результатов наблюдений в геоэлектрике.

Книга предназначена научным работникам, инженерам и студентам геофизической специальности, но будет интересна специалистам в других разделах естественных наук, использующим в своей работе физические и математические методы исследования.

Постоянный автор и научный редактор выпусков нашего журнала, посвященным электро-разведке, — Борис Сергеевич Светов — выпустил в свет большую и умную книгу, о чем мы с удовольствием сообщаем нашим читателям