

Перспективы повышения точностных и чувствительных параметров сейсмоприемников

Ю.П. Петров, Пермский государственный университет, г.Пермь

В данной статье мы рассмотрим перспективный класс сейсмоприемников на основе магнитных подвесов и исследуем их точностные и чувствительные параметры.

Как известно, у классического механического сейсмографа, входящего в состав почти любого сейсмоприемника генераторного ряда, существует зависимость между собственной частотой f_0 и диапазоном преобразуемых им частот, при котором выходной сигнал не искажен и постоянен. Таким образом, исследование всего спектра сейсмических волн, используемого в разведочной геофизике, возможно только в том случае, если используется некоторый набор сейсмоприемников с различными собственными частотами. Но в этом случае необходимо принимать во внимание их цену. Диапазон цен настолько широк (от \$ 10 до \$ 1000 и более), что высокая цена на низко- и высокочастотные сейсмоприемники практически не позволяет использовать их в широкой практике сейсморазведочных работ.

Сейсмоприемники на основе пассивных магнитных подвесов (ПМП).

Повышение магнитов с удельной энергией до 250 кДж/м³ позволило пересмотреть традиционные принципы конструирования сейсмоприемников. Энергии магнитов оказалось достаточно для того, чтобы заменить механическую пружину на магнитную и обеспечить необходимую собственную частоту, затухание и соответствующий коэффициент преобразования. Кроме того, новая конструкция привела к появлению нового качества. По утверждению Ю.А. Иוריша (1963 г.), магнитная пружина не обладает массой и для нее не существует гармоник, присущих механическим пружинам. Это обеспечивает устройству широкий сейсмический диапазон. Отсутствие механических пружин предполагает большую стабильность и механическую прочность устройств.

На устройства, в которых механическое взаимодействие тел обусловлено посредством магнитных полей (пондеромоторное взаимодействие) получены авторское свидетельство [1] и серия более поздних патентов. Подвесы, в которых инерциальная масса уравнивается постоянными магнитами, относят к постоянным магнитным подвесам (ПМП).

Опытная партия сейсмоприемников, изготовленная в соответствии с патентом № 2017175 Россия, МКИ G 01 V 1/16, была внедрена в ПО "Пермнефтегеофизика".

Пермской научно-производственной приборостроительной компанией на основе патента № 2018155 Россия, МКИ G 01 V 1/16 изготовлена серийная модель сейсмоприемника на ПМП – СВ-10-11.

Конструкция (рис. 1) содержит корпус 1, инерциальную массу 2 в виде постоянного магнита, катушку 3, соединенную с корпусом, магнитопровод 5, демпфер 6, растяжку 4, стержень 7, каркас катушки 8.

Соединение массы 2 с растяжкой 4 посредством стержня 7 представляет собой горизонтальный маятник, в котором растяжка 4 выполняет роль шарнира, а маятник имеет одну степень вращения вокруг оси растяжки 4. В конструкции момент силы тяжести магнита 2 компенсируется моментом пондеромоторной силы со стороны магнитопровода

5. Растяжка 4 центрирует оси подвижного магнита 2 и магнитопровода 5 на одной прямой.

Исследования показали, что все параметры сейсмоприемника СВ-10-11 соответствуют ГОСТу 28134-89 "Сейсмоприемники электродинамические". Основные результаты разработок и исследований конструкций сейсмоприемников опубликованы в журнале РАН "Геофизическая аппаратура".

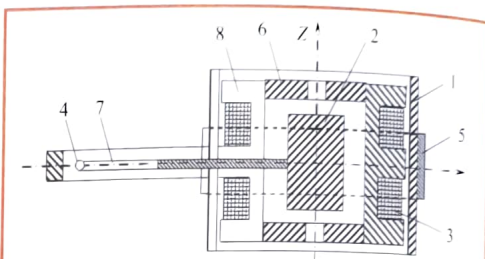


Рис. 1. Блок-схема сейсмоприемника на ПМП

[2], а позднее обсуждались в целом ряде прикладных журналов и на конференциях.

Проведены сравнительные измерения выходных сигналов сейсмоприемников СВ-10-11 (10 Гц, Пермь), GS-20-DX (10 Гц, Уфа), СВ-10-Ц (10 Гц, Уфа), JF-20-DX (10 Гц, Китай) при воздействии на них внешней силы с частотой от 20 Гц до 1000 Гц. Испытуемые сейсмоприемники устанавливались одновременно на вибративный стол, имитирующий сейсмические волны со скоростью 0,01 м/с в диапазоне частот f до 1000 Гц. Результаты испытаний приведены на рис. 2. Из графиков видно, что у механических сейсмоприемников (GS-20-DX, JF-20-DX, СВ-10-Ц) коэффициент электромеханической связи W непостоянен в области свыше 190 Гц. График СВ-10-11 линеен до 1000 Гц. Очевидно, искажения коэффициента при частоте воздействия более 190 Гц связаны с резонансами механических упругих элементов сейсмической системы сейсмоприемников. Линейность графика СВ-10-11 объясняется отсутствием резонансов.

Технологичность базовой модели отработана при изготовлении различных групп и типов сейсмоприемников, выпущены партии резонансных сейсмоприемников на одиннадцать собственных частот (наибольшая частота 91,4 Гц); сейсмоприемников горизонтального и вертикального типов (частота 8 Гц); высокочувствительных сейсмоприемников ($W=200$ В/м/с); сейсмоприемников на собственную частоту 20 Гц.

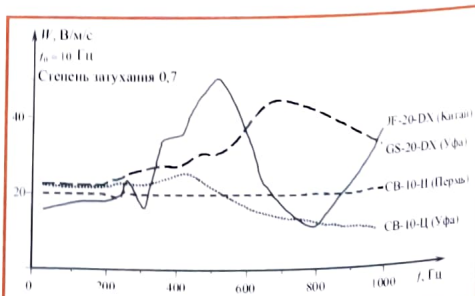


Рис. 2. Амплитудно-частотная зависимость для сейсмоприемников СВ-10-Ц, GS-20-DX, JF-20-DX, СВ-10-11

В Пермской научно-производственной приборостроительной компании прошли лабораторные испытания сейсмоприемники на частоту собственных колебаний 1 Гц, которые конструктивно незначительно отличаются от базовых, а следовательно, в производстве будут обладать небольшой стоимостью.

Сравнительные полевые испытания наших сейсмоприемников СВ-10-II и Уфимского GS-20-DX, проведенные в ПО "Пермнефтегеофизика", показали, что у СВ-10-II лучшее соотношение сигнал-помеха.

Один из основных параметров сейсмоприемников – коэффициент нелинейных искажений (КНИ). У сейсмоприемников GS-20-DX он не превосходит 0,2%, у СВ-10-II не превышает 0,04-0,03%. Основной вклад в КНИ механического сейсмографа вносят высшие гармоники, возникающие в процессе деформации его упругих элементов. Отсутствие таких гармоник у сейсмоприемников на магнитном подвесе приводит к очень малому КНИ.

По остальным параметрам базовая модель позволила изготавливать сейсмоприемники с относительной погрешностью: по сопротивлению – $\pm 2\%$, по собственной частоте – $\pm 2\%$, по демпфированию – $\pm 6\%$, по коэффициенту преобразования – $\pm 4\%$ (все параметры сейсмоприемников исследовались тестером SMT-200).

Внедренная в серийное производство на Пермской приборостроительной компании конструкция сейсмоприемника обладала существенным недостатком. Она не была предназначена для выпуска больших серий в короткое время. С этой проблемой предприятие столкнулось, когда необходимо было изготовить более 200 000 шт. Поэтому, в настоящее время перед автором стоит задача разработки конструкции, которую можно поставить на конвейерную сборку, заведомо обеспечив самую низкую выпускную цену.

Сейсмоприемники на основе совмещенных электромагнитных подвесов (СЭМП)

Устройства, использующие силовые свойства постоянных магнитов и соленоидов и уравновешивающие вес тела, относятся к электромагнитным подвесам (СЭМП).

Конструкция СЭМП эффективно использована в разработке многофункционального, высокоточного и малогабаритного сейсмоприемника. Частота собственных колебаний левитирующей массы подвеса определялась из соотношения:

$$f_0^2 = \frac{1}{4\pi^2 m} / (\Pi\eta - \gamma)$$

В разработанном макете, описание которого опубликовано в 1994 и 2000 гг. [2], масса составляет $1,32 \cdot 10^{-2}$ кг. Постоянный магнит из SmCo_5 в форме диска имеет диаметр $1,2 \cdot 10^{-2}$ м, длину $5 \cdot 10^{-3}$ м. Параметр γ , определяющий крутизну силовой характеристики постоянного магнита, в соответствии с расчетами и далее подтвержденный в экспериментах, принят равным 63,85 Н/м. Подвешивающие соленоиды со средними диаметрами от $1,5 \cdot 10^{-2}$ м до $3 \cdot 10^{-2}$ м и высотой $5 \cdot 10^{-3}$ м имеют разную плотность намотки и определяют постоянную соленоида Π от 1 до 10 н/А. Изменение η для различных соленоидов регулирует частоту собственных колебаний подвешенного тела в пределах от 1 до 60 Гц (рис. 3), что позволяет конструировать многодиапазонный сейсмоприемник [3].

Другая возможность регулирования циклической частоты возникает из рассмотрения зависимости f_0 от γ . Исследованиями [4] установлено, что полная компенсация массы тела в двойном

солоноиде при встречном включении обеспечивает зону практически постоянной силы тяги с очень малой крутизной силовой характеристики. Пользуясь методом эквивалентного соленоида и заменяя соленоиды постоянными магнитами, можно получить подвес тела с очень малой частотой (теоретически – 0,001 Гц).

Математический анализ работы СЭМП доказывает возможность поддерживать частоту

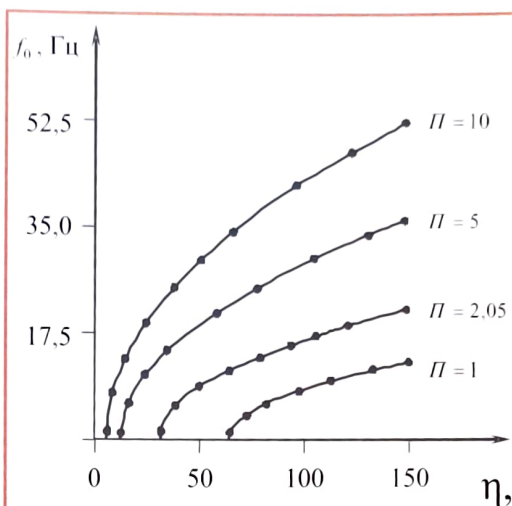


Рис. 3. Зависимость собственной частоты f_0 от параметров η при различных значениях постоянной соленоида Π (н/А)

собственных колебаний инерциальной массы f_0 с относительной точностью $\pm 6 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-4}$, что может быть востребовано при высокоточных сейсмических исследованиях. Полученная точность установки недостижима для механических систем.

На рис. 4 приведена сравнительная запись сейсмических волн от сейсмоприемника на основе СЭМП и низкочастотного электродинамического сейсмоприемника СВ-5. Оба прибора имели собственную частоту 5 Гц. Сравнение записей показывает, что чувствительность СЭМП в 350 раз выше, чем СВ-5 (40 В/м/с). Коэффициент преобразования сейсмоприемника на СЭМП составляет $1,4 \cdot 10^4$ В/м/с.

При анализе свойств сейсмоприемника на СЭМП, проведенных специалистами Третьего центрального научно-исследовательского института Министерства обороны РФ, установлены следующие достоинства: низкий уровень шумов, расширенный диапазон регистрации в области низких частот до 1-2 Гц.

В дальнейшем [5] автор расширил функциональные возможности сейсмоприемника на магнитном подвесе. А именно – создал устройство с регистрацией сейсмических сигналов по осям x, y, z и ориентировкой в определенном азимуте.

В разработанной конструкции сейсмоприемника инерциальная масса вертикальна независимо от больших наклонов корпуса. Регистрация колебаний этой массы производится не только в вертикальном, но и в двух ортогональных горизонтальных направлениях. Таким образом, обеспечивается трехкомпонентность прибора при использовании лишь одной инерциальной массы и ориентации одной из компонент x (либо y) вдоль магнитного меридиана Земли.

Разработка трехкомпонентного самоориентирующегося сейсмоприемника проводилась с целью эксплуатации его в автономном режиме для

И СНОВА О СЕЙСМОПРИЕМНИКАХ... ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

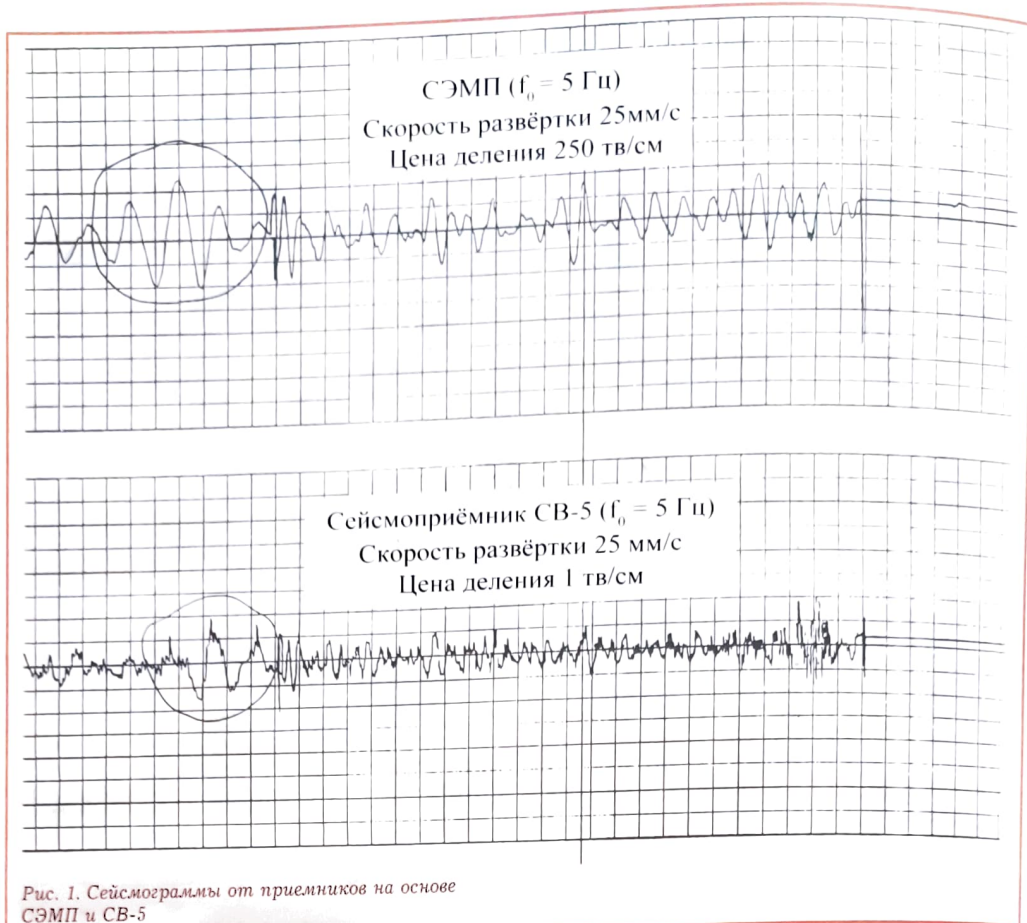


Рис. 1. Сейсмограммы от приемников на основе СЭМП и СВ-5

проведения мониторинговых работ. Электронные компоненты подвеса разработаны с учетом следующих требований: незначительное потребление энергии, малые габариты, высокая стабильность, автономный источник питания. Создана оригинальная электронная схема подвеса с применением микросхем. В описанном электромагнитном подвесе использован соленоид со средним диаметром витков $15 \cdot 10^{-3}$ м, высотой $5 \cdot 10^{-3}$ м, числом витков 3790, провод ПЭВ-0.07. Электромагнитный подвес питается от источника двухполярного напряжения ± 12 В, потреблением тока 12 мА, автономный источник питания 4 батареи "Крона". Автономная работа сейсμοприемника предусматривает телеметрическую передачу механических колебаний с места расположения сейсμοприемника. С этой целью изготовлена УКВ-приставка. Проведенные работы по определению ориентации сейсμοприемника по магнитному меридиану дают основания утверждать, что точность самоориентации сейсμοприемника находится в пределах $\pm 2 \cdot 10^{-4}$ рад.

Высокая точность установки технических характеристик трехкомпонентного самоориентирующегося сейсμοприемника, широкий диапазон регулирования частоты собственных колебаний и затухания послужили предпосылкой к разработке проекта комплекса направленного бурения скважин. Результаты исследований изложены в [6]. Комплекс направленного бурения скважин предполагает наличие геоакустического каротажа, в котором используются сейсμοприемники. Предложен оригинальный способ определения местоположения забоя скважины [7], который может быть осуществлен с использованием резонансных свойств сейсμοприемников на магнитном подвесе [19].

Большая помехозащищенность и высокая чувствительность резонансных сейсμοприемников обеспечивают им нормальную работу в экстре-

мальных условиях, существующих при бурении скважины. В зависимости от условий бурения и используемого бура, частота акустического сигнала, вырабатываемого долотом, может быть различной. Соответственно регулируются частота собственных колебаний и степень затухания упругой системы сейсμοприемника, обеспечивающего геоакустический каротаж. Дополнительно разработанные полосовые фильтры позволяют в еще большей степени подавить помехи и усилить полезный сигнал.

Полученные результаты по повышению точностных и сенситивных параметров сейсμοприемников позволяют расширить область применения магнитных подвесов в геофизических устройствах, что в свою очередь повысит точность поисковых и разведочных геофизических работ на нефть, газ и другие полезные ископаемые.

Литература

1. А.С. 1436079 СССР, МКИ G 01 V 1/16. Сейсμοприемник / Петров Ю.П., Мифтахутдинов Р.К., Новоселицкий В.М., Орлов Л.К., Петрова Л.С., Рочев С.С. // Открытия. Изобретения. № 41. 1988. С.186.
2. Петров Ю.П. Сейсмометрические преобразователи на основе пьезомоторных сил магнитного поля // Геофизическая аппаратура, вып. 99. Л.: РАН, 1994. С.105-112.
3. Петров Ю.П. Гравитационные технологии в геофизическом приборостроении на основе магнитных подвесов // Тез. докл. на 32 сессии Международного научного семинара имени Д.Г. Успенского, 24-29 января 2005 г., г. Пермь: РАН УрО РАН, Горный институт. С.221-222.
4. О.Г. Качинельсон, А.С. Эдельштейн. Автоматические измерительные приборы с магнитной подвеской. М.: Энергия, 1970.
5. Пат. № 2046374 Россия, МКИ G 01 V 1/16. Самоустанавливающийся трехкомпонентный сейсмометрический / Петров Ю.П. // Изобретения. № 29. 1995. С.251.
6. Петров Ю.П., Ермаков В.С., Максимов А.Г. Разработка вибросистемного гироскопа для реализации проекта скважинной навигации // Приборы и Системы. Управление. Контроль. Диагностика. № 11. М.: Научтехлитиздат, 2000. С.30-35.
7. А.С. 1698865 СССР, МКИ G 01 V 1/40. Способ определения местоположения забоя скважины / Петров Ю.П., Семенов Б.А. // Открытия. Изобретения. № 46. 1991. С.198.
8. Петров Ю.П. Аппаратурная и методическая организация геоакустического каротажа в комплексе направленного бурения скважин // Приборы и Системы. Управление. Контроль. Диагностика. № 7. М.: Научтехлитиздат, 2005. С.51-54.