Лабораторная работа №1
Устройство и принцип работы сейсмоприемников.

1. Цель работы. Ознакомление с основными типами сейсмоприемников. Изучение устройства, функциональной схемы и анализ основных характеристик сейсмоприемника индукционного типа.

2. Теоретические основы.

2.1. Назначение и типы сейсмоприемников.

Достижение высокой результативности от применения сейсмической разведки в значительной мере зависит от качества возбуждения упругих колебаний и правильности их приема в полевых условиях. Ошибки, допущенные на этом этапе проведении полевых работ, практически не поддается каким либо исправлениям в процессе последующей обработки. При проведении сейсмической разведки прием сейсмических колебании, возбужденных каким-либо источником, во всех случаях производится с помощью определенным образом размещенных на профиле (площади) исследований на поверхности земли специальных приемников колебаний - *сейсмоприемников.* В зарубежной литературе их принято называть *геофонами.*

Движения почвы (ее смешения), вызванные взрывом, принципиально могут быть записаны сейсмоприемником только в том случае, если внутри сейсмоприемника в точке наблюдения имеется некоторое тело, которое в движение почвы не *участвует,* или, по крайней мере, хотя бы частично изолировано от воздействия приходящих колебаний почвы. Роль такого тела в сейсморазведке всегда играет так называемая *инертная масса,* которая с корпусом сейсмоприемника связана при помощи упругих пружин.

При электрической записи сейсмических колебаний корпус и связанная с ним пружинами инертная масса становятся лишь первым звеном приемника – *механической системой* сейсмоприемника. Вторым элементом сейсмоприемника всегда является электрическая система – *электромеханический преобразователь,* который осуществляет преобразование механических колебаний почвы и электрические сигналы. Эти обе системы, как правило, всегда конструктивно тесно связаны в единую систему. Любой современный приемник сейсмических колебаний преобразует различные механические параметры, характеризующие колебания среды, в электрические сигналы. Преобразуемыми механическими величинами колебательного процесса в среде могут быть величины *смещения* почвы, *скорости, ускорения ее смещения, давление в жидкости* и т. п.

В сейсмоприемниках, как правило, инертная масса имеет для своего перемещения одну степень свободы. Если направление возможного перемещения инертной массы при этом ориентировано по вертикали, то такие сейсмоприемники называются *вертикальными.* Сейсмоприемники такой конструкции предназначаются для регистрации вертикальных компонент вектора смещения почвы, которые являются доминирующими при подходе продольных сейсмических волн. Если перемещение инертной массы разрешено по горизонтали, то такие сейсмоприемники называются *горизонтальными.* Эти сейсмоприемники предназначаются для регистрации горизонтальных компонент волнового поля, которые доминируют у поперечных волн типа *SH* и SV, либо у близких к ним по свойствам обменным волнам.

В настоящее время в сейсморазведке применяют приемники двух типов, отличающихся друг от друга принципом механико-электрического преобразования, – индукционные (электродинамические) и пьезоэлектрические. Первые применяются в сухопутной сейсморазведке и при производстве интегральных скважинных исследований. Вторые используют в морской сейсморазведке и при проведении акустического каротажа.

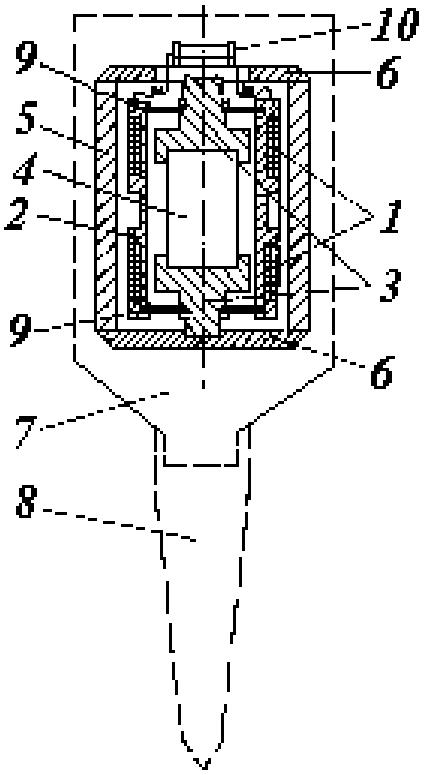

Рис. 1 Схема устройства электродинамического сейсмоприемника

Электродинамические сейсмоприемники Работа приемников этого типа основана на принципе электромагнитной индукции. Электродвижущая сила в них возникает в результате движения двух (или одной) катушек 1 (рис. 2), смонтированных на общем тонкостенном алюминиевом цилиндрическом каркасе *2*, в кольцевом воздушном зазоре между полюсными наконечниками *3* постоянного магнита *4* и цилиндрическим корпусом-магнитопроводом *5*. Магнит и магнитопровод вместе с нижней и верхней крышек *6* образуют единую магнитную систему. Система жестко закрепляется в изолирующем пластмассовом корпусе *7*. Корпус снабжен штыком *8*, с помощью которого обеспечивается хороший контакт приемника с почвой. Катушки подвешиваются относительно магнитной системы с помощью двух фигурных пружин *9*. Конструкция пружин и их размещение по разные стороны подвижной системы обеспечивает ее перемещение только по оси сейсмоприемника и определяет его максимальную чувствительность к смещениям почвы той же ориентировки. Для регистрации *продольных* волн применяют приемники с вертикальным расположением оси максимальной чувствительности, а *поперечных* – с горизонтальным. При подходе сейсмических волн к точке размещения приемника его корпус вместе с магнитной системой повторяют колебания почвы. Подвешенные на пружинах катушки в силу инерционности стремятся сохранить исходное положение. Витки катушки при этом пересекают силовые линии магнитного поля, что приводит к возникновению напряжения между выводами катушек. Величина напряжения пропорциональна скорости относительных перемещений катушек и корпуса. Намотка витков катушек выполнена в противоположных направлениях. При последовательном соединении обмоток это обеспечивает сложение ЭДС, обусловленных

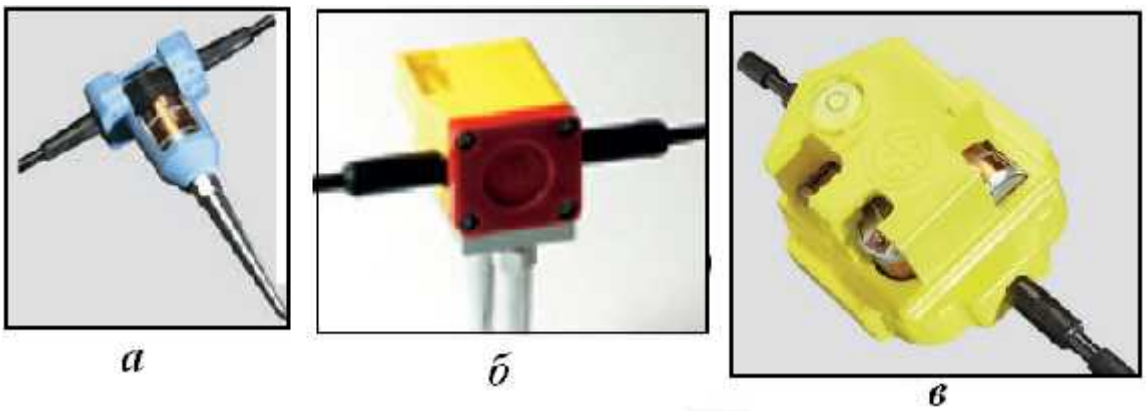

Рис. 2. Электродинамические сейсмоприемники: а – вертикальный; б – горизонтальный; трехкомпонентный

движением катушек, и вычитание ЭДС, вызванных электромагнитными наводками в катушках. Такие системы называют дифференциальными. При сейсморазведочных работах могут применяться и однокатушечные приемники, лишенные отмеченного достоинства.

Пьезоэлектрические сейсмоприемники В приемниках этого типа используется прямой пьезоэффект – свойство некоторых кристаллов электрически поляризоваться при механических

деформациях. Современный пьезоэлектрический элемент может быть изготовлен из татаната бария, специальной керамики ЦТС-4, окиси цинка и др. Элементу придают форму диска или цилиндра. В зависимости от формы и способа закрепления элемента в корпусе прибора он работает на сжатие или изгибе. Успешное применение пьезоприемников возможно лишь при хорошем контакте их со средой. Этим и объясняется их преимущественное применение в морской сейсморазведке.

Если в безграничной жидкой среде плотностью ° распространяется волна (в жидкой среде распространяются только продольные волны) со скоростью *v* при скорости относительного перемещения частиц жидкости ¦ (*t*), то в ней возникает давление. Под действием давления пьезоэлемент деформируется и на его гранях возникают электрические заряды. Поскольку

Рис. 3. Пьезоприемники: а – принципиальная схема; б - реагирующие на сжатие пьезокерамических цилиндров (ПДС-21); в - реагирующие на изгиб пьезокерамических пластин (ПДС-7).

элемент представляет собой своеобразную емкость *C*, между гранями возникает разность потенциалов, пропорциональная приложенному давлению

Цифровые сейсмоприемники (акселерометры) В последние годы компании INPUT/OUTPUT(США) и SERCEL(Франция) независимо друг от друга разработали и вышли на рынок геофизического оборудования с сейсмоприемниками нового поколения. При их создании впервые бала применена технология МикроЭлектроМеханических Систем (МЕМС). Датчик сейсмоприемника – это микроэлектромеханическое устройство, созданное в техническом вакууме. Чувствительный элемент сейсмоприемника представляет собой тонкую керамическую подвижную пластину конденсатора размером около 1 см и весом менее 1г. В центре пластины имеется локальная инертная масса (грузик), которая смещается при приеме колебаний, вызывая изменения емкости конденсатора. Смещение составляет несколько нанометров. Такой преобразователь очень удобен для создания сейсмоприемников, реагирующих на *ускорение* смещения грунта. В приборах данного типа использован компенсационный принцип измерения. Для этого на конденсатор подается компенсирующее напряжение с частотой 128 кГц, удерживающее пластину в неподвижном состоянии. Величина этого напряжения пропорциональна модулю вектору смещения пластины (грузика). Управляющая цепь обратной связи и выходной каскад прибора представляют собой *Специализированную Цифровую Интегральную Микросхему (ASIC).* На выходе этой схемы АЦП вырабатывает 24 разрядный цифровой код, пропорциональный принимаемому сейсмическому сигналу, отражающему ускорение смещения грунта. Таким образом, еще на этапе приема колебаний на выходе сейсмоприемника получается цифровой сигнал. В целом конструкция чувствительного элемента (электромеханического преобразователя) такова, что выходной сигнал в цепи обратной связи *пропорционален ускорению движения частиц почвы* (корпус прибора). Поэтому приборы, изготовленные по технологии МЕМС+*ASIC*, принято еще называть *акселерометрами (измерителями ускорений).*

В целях расширения области применения приборы данного типа выпускаются в виде трехкомпонентных регистрирующих систем. Кроме того, на приборы данной конструкции, в отличие от всех ранее применявшихся в наземной сейсморазведке типов сейсмоприемников, не влияет отклонение оси максимальной чувствительности от вертикали. Это связано с тем, что в этих приборах по разности компенсирующих напряжений двух горизонтальных измерительных элементов системы приема автоматически и с высокой точностью (0.5 град) определяется их наклон.

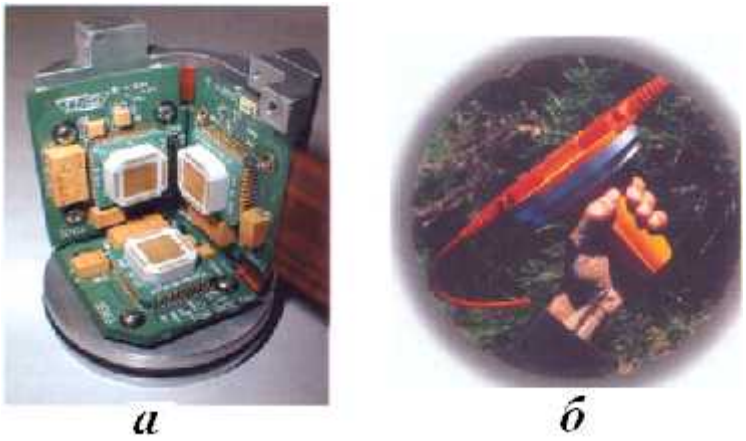

Рис. 4. Цифровой трехкомпонентный сейсмоприемник, изготовленный по технологии MEMC+ASIC фирмы SERCEL: а – вид внутреннего устройства; б – внешний вид.

2.2 Основные характеристики сейсмоприемника

Частота собственных колебаний Выведенная из положения равновесия подвижная система (инертная масса) приемника после снятия нагрузки будет совершать свободные затухающие колебания. На выходе приемника им будут соответствовать электрические колебания:

$$u(t) = u_0 e^{-ht} \sin(2\pi ft + \varphi) \qquad (1)$$

где u_0 – амплитуда в момент снятия внешнего воздействия (при $t = 0$); h – коэффициент затухания; φ – фазовый сдвиг между электрическими и механическими колебаниями.

Частота затухающих колебаний определяется соотношением:

$$f = \sqrt{f_0^2 - (h/2\pi)^2}, \qquad (2)$$

где $f_0 = \sqrt{K/M}/(2\pi)$ – частота собственных колебаний подвижной системы приемника; M – ее масса; K – коэффициент упругости пружин.

Собственные колебания искажают истинные колебания почвы и снижают разрешающую способность приемника. Для ее повышения необходимо сократить длительность собственных колебаний. Это достигается с помощью специальных приемов успокоения (затухания) подвижной системы приемника. В электродинамических приемниках используется электромагнитное затухание, обусловленное явлением самоиндукции и тепловыми потерями. Величина тока самоиндукции в катушках и тепловые потери определяются величиной сопротивления шунта, подключаемого параллельно выходу приемника.

Из анализа характеристик следует, что для обеспечения слабой зависимости чувствительности и фазового сдвига от частоты необходимо применять приемники, у которых частота собственных колебаний значительно ниже рабочего диапазона частот. В настоящее время при работах МОГТ используют сейсмоприемники с частотами 6–10 Гц.

Приемники без затухания в практике сейсмических работ не применяются, так как обеспечивают регистрацию сигналов только одной, определенной частоты и делают невозможным раздельный прием сейсмических импульсов.

Поэтому в состав сейсмического приемника вводится затухание – система, уменьшающая собственные колебания прибора. В числовой форме затухание выражается в виде коэффициента **h** и параметра **b**=h/2πf$_0$

Гашение собственных колебаний осуществляется электромагнитной силой Ленца. Она представляет собой тормозящую силу, которая действует в магнитном поле на движущийся проводник с током. Достаточно замкнуть цепь катушки шунтирующим резистором R, чтобы в ней под действием э.д.с. индукции возник электрический ток. Тогда на движущуюся катушку будет действовать сила Ленца, пропорциональная силе тока.

В зависимости от параметра затухания выделяются:

b = 0 % приемники без затухания (резонансные)

b<100 % недозатушенные приемники

b=100 % приемники с критическим затуханием

b>100 % перезатушенные приемники.

Как правило, приемники настраиваются на оптимальное затухание, позволяющее принимать сейсмические импульсы с минимальным искажением в широкой полосе частот.

Известно, что сигнал на выходе сейсмоприемника отличается по амплитуде, фазе и частоте от входящего сигнала, т.е. приемник является фильтром сейсмических сигналов. Стандартным способом описания фильтрующего действия устройства является построение амплитудно-частотной и фазово-частотной характеристик – АЧХ и ФЧХ. Реакция сейсмоприемника на регистрируемые колебания определяется особенностями его амлитудной и фазовой частотных характеристик, а также характеристики направленности.

<u>Амлитудно-частотной характеристикой</u> приемника называется зависимость отношения между напряжением электрического сигнала на выходе приемника A_1 и амплитудой механического колебания на входе от частоты A_0.

$$Kc(f)=\frac{A_1(f)}{A_0(f)}=\frac{\circ^2}{\sqrt{\left(1-\circ^2\right)^2+4b^2\circ^2}}, \qquad (3)$$

где ρ=f/f$_0$

<u>Фазово-частотной характеристикой</u> называется частотная зависимость фазового сдвига между электрическим импульсом на его выходе $\ddot{}_1(\mu)$ и колебаниями корпуса приемника на входе $\ddot{}_0(\mu)$.

$$¥c(f)=\ddot{}_1(f)-\ddot{}_0(f)=arctg\frac{-2b\circ}{1-\circ^2} \qquad (4)$$

В полосу пропускания приемника попадают волны с частотами, для которых АЧХ>0,7. Такие сигналы считаются принятыми без заметных искажений. В полосе подавления сейсмоприемника оказываются колебания, для которых АЧХ<0,7. Опытные работы показали, что сейсмоприемники пропускает преимущественно те колебания, частота которых превышает его собственную частоту. Таким образом, он является фильтром верхних частот.

Способность сейсмоприемника избирательно воспринимать колебания с различной частотой используется для подавления низкочастотных волн помех.

Следует учесть, что для весьма миниатюрных пластин конденсатора их собственная резонансная частота механических колебаний, в отличии от частот электродинамических сейсмоприемников, достаточно высока и лежит в интервале 800-1000Гц. Частотная характеристика электрического преобразователя может иметь достаточно крутой левый срез в

области частот 0,1 - 3 Гц. Поэтому правильно подобранные константы обоих преобразователей позволяют получить практически идеальную линейную частотную характеристику в весьма широком диапазоне частот (0,1 - 800 Гц.). Это же касается и фазово-частотной характеристики приборов. Таким образом, использованная технология МЕМС+*ASIC*) позволила получить амплитудно-частотные и фазово-частотные характеристики сейсмоприемника принципиально нового качества.

Характеристика направленности зависимость чувствительности от направления смещения почвы при подходе волны. Для индукционных приемников рассмотренной конструкции характеристика направленности аналитически отображается простой формулой:

$u = u_0 \cos\sim$,

где u_0 J модуль вектора смещения почвы; ~J угол между вектором и осью приемника.

Графически характеристика направленности индукционного приемника представляет две соприкасающиеся сферы с центрами на оси приемника.

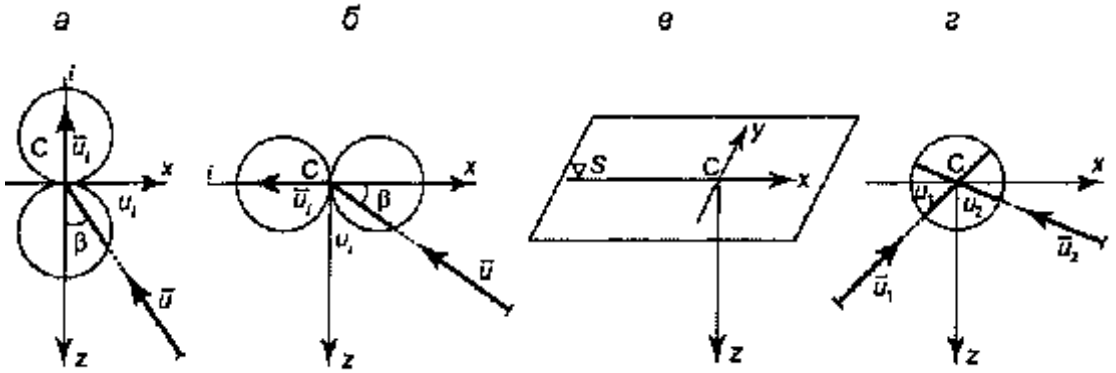

Рис.5. Характеристики направленности сейсмоприемников: а – инерционного вертикального; б – инерционного горизонтального; в – оси чувствительности трехкомпонентной вертикально-горизонтальной установки; г – пьезоэлектрического приемника давления.

Поскольку пьезоприемники реагируют на изменение давления, их чувствительность не зависит от направления смещения, т.е. характеристика направленности представляет собой сферу с центром в точке приема (см. рис. 5,*в*).

3. Задание.

1. Рассчитать АЧХ и ФЧХ и интервале 0-100Гц с шагом 1 Гц для параметра затухании b = 25, 50, 70, 100 и 200 %, если собственная частота колебаний сейсмоприемника f_0, Гц.
2. Полученные зависимости постройте на двух графиках и выберите параметр затухания, при котором характеристика приемника максимально соответствует идеальному фильтру верхних частот
3. Для каждой АЧХ определить рабочий диапазон частот (где $0.7 \le K_c \le 1.2$).
4. Оцените степень подавления поверхностных волн Релея, преобладающая частота которых fP, Гц.

4. Содержание отчета.

1. Краткие ответы на контрольные вопросы
2. Графики АЧХ и ФЧХ в интервале 0-100Гц для параметра b = 25, 50, 70, 100 и 200 %.
3. Анализ полученных АЧХ и ФЧХ: рабочий диапазон, степень подавления поверхностных волн Релея.

5. Контрольные вопросы.

1. Назначение сейсмоприемников.
2. Какой тип сейсмоприемника измеряет, скорости смещения почвы, ускорения ее смещения и давление в жидкости.
3. С какой целью намотка витков катушек электродинамического сейсмоприемника выполнена в противоположных направлениях.
4. С какой целью в состав сейсмического приемника вводится система затухание и что она собой представляет.
5. Какие волны преимущественно регистрируются вертикальными и горизонтальными сейсмоприемниками.
6. Что понимают под АЧХ и ФЧХ сейсмоприемника.
7. В чем заключается пьезоэффект и какие элементы им обладают.
8. Перечислите основные особенности (преимущества) акселерометром.

Приложение №1. Варианты заданий.

Вар	**f0, Гц**	**fP, Гц**
1	10	6
2	12	8
3	14	10
4	16	12
5	18	14
6	20	16
7	22	18
8	24	20
9	26	7
10	28	9
11	30	11
12	32	13