## МОДЕРНИЗАЦИЯ АНАЛОГОВЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СЕЙ-СМОМЕТРОВ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ РЕ-ГИСТРАЦИИ

К.Б. Чалый, D.R. Burk \*, K.G. Mackey \*, H.E. Hartse \*\*

Геофизическая обсерватория института сейсмологии и геодинамики КФУ им. Вернадского Симферополь, Крым \* Университет штата Мичиган, Ист-Лансинг, Мичиган \*\* Национальная лаборатория Лос-Аламос, Нью-Мексико

В статье приводятся описание работ и результаты усовершенствования и модернизации электромеханических сейсмометров СМ-3, ВЭГИК и СКМ советского производства для цифровой регистрации землетрясений.

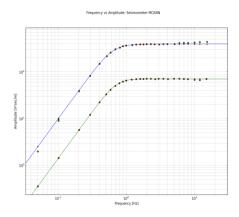
Ввеление. Электромеханические сейсмометры – простые и надежные конструкции для регистрации землетрясений, которые широко используется во всём мире. Они изначально были предназначены для аналоговой записи и способны генерировать сигналы достаточной мощности для использования оптических гальванометров с увеличением амплитуды с помощью отклонения зеркала. Конструктивно они представляют собой систему связанных колебательных контуров, в которой сопротивление обмотки рабочей катушки датчика было согласовано с сопротивлением катушки гальванометра, что обеспечивает оптимальную передачу электрической мощности и, соответственно, максимального и равномерного усиления в рабочей полосе частот системы. Аналоговая регистрация практически исключает использование современных программ и цифровых методов обработки с применением компьютерной техники. В настоящее время, на большинстве сейсмостанций, аналоговая система регистрации заменяется цифровой, которая характеризуется высоким входным сопротивлением. Поэтому датчики тоже должны быть изменены для работы с новой системой регистрации. Эксперименты были проведены тремя методами: 1 – для увеличения амплитуды выходного сигнала за счет увеличения числа витков рабочей катушки датчика, 2 – усиление магнитного поля постоянного магнита и 3 – применение усилителя выходного сигнала датчика. Поскольку любые изменения в конструкции прибора обязательно влияют на его чувствительность, также был разработан надёжный и простой метод калибровки, который позволяет точно определить амплитудно-частотную характеристику прибора.

Изменение катушки сейсмометра. Значительно увеличивает чувствительность прибора простое увеличение количества витков провода в рабочей катушке. Сейсмометр СКМ особенно подходит для такого пути потому, что каркас его катушки имеет большой диаметр. Изначально экспериментальный сейсмометр СКМ имел чувствительность 70 В•с/м, собственную частоту колебаний 0,712 Гц и величину затухания 0,67. На оригинальной катушке было две раздельных обмотки – рабочая катушка и катушка затухания под ней. Каждая сопротивлением 40 Ом. Мы удалили верхнюю рабочую катушку и оставили нетронутой катушку затухания. Затем намотали новую обмотку рабочей катушки проводом меньшего диаметра 0,127 мм. Было намотано максимально возможное количество витков. В результате сопротивление вновь намотанной катушки составило 1054 Ом. При этом чувствительность сейсмометра возросла до примерно 400 В • с/м. Также возросло соотношение сигнал-шум.



Р и с. 1. Слева – оригинальная катушка, справа – измененная

Теоретически, чувствительность катушки (выходного напряжения) линейно возрастает относительно количества витков в катушке.

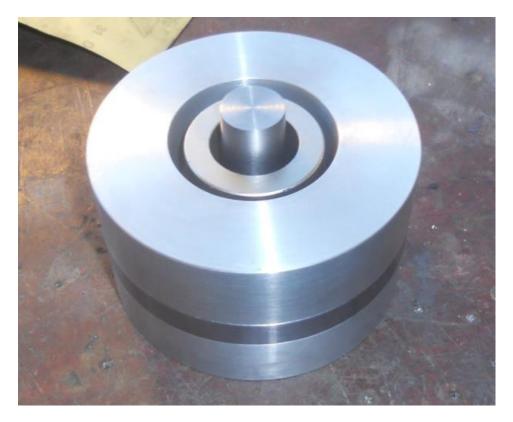


Р и с. 2. Сравнение графиков чувствительности оригинальной (нижний) и перемотанной (верхний) катушек датчика СКМ

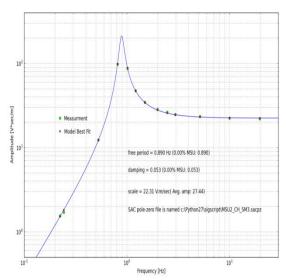
Усиление магнитного поля. Электромеханический сейсмометр использует постоянный магнит для создания электрического сигнала в рабочей катушке. Здесь используется эффект движения контура в постоянном магнитном поле. Один из способов увеличения чувствительности прибора – усиление магнитного поля. Старые электромеханические сейсмометры обычно использовали Альнико магниты. С годами, многие из старых магнитов потеряли напряжённость поля, тем самым снизив чувствительность приборов. Установка современных неодимовых магнитов (т.н. супозволяет существенно пермагниты) усилить магнитное поле в катушке и таким образом повысить чувствительность прибора. Этот способ был протестирован на датчиках СМ-3 и ВЭГИК заменой оригинального магнита на ниодимовый такого же размера (рис. 3 и 4). В тесте с СМ-3 неодимовый магнит был плохо магнитопроводом соединен с меньшего диаметра, что снизило магнитное поле. Тем не менее, используя катушку с несколькими витками на раздемпфированном маятнике, мы получили увеличение чувствительности с 22,31 до 61,53 В•с/м, то есть в 2,7 раза (рис. 5). Так как усиление магнитного поля влияет как на рабочую катушку, так и на катушку затухания, коэффициент затухания также может значительно измениться. Таким образом, любое изменение магнитного поля может потребовать изменения параметров катушки затухания – либо перемотки катушки, либо изменения шунта для установки оптимальной величины затухания. Было обнаружено значительное увеличение затухания от 0,053 до 0,463 при замене магнита (рис. 5). Замена магнита – более сложная процедура, чем перемотка катушки. Здесь необходимо либо заказывать изготовление магнита нужной формы для точного соответствия креплениям и установочным местам в корпусе прибора, либо изготовление картриджей и переходников для использования магнитов стандартных форм и размеров, как мы и поступили в наших тестах. Относительно того какие типы магнитов могут быть использованы: новые Альнико магниты дешевле, но не значительно в сравнении с ниодимовыми, но быстрее теряют свои свойства в течение времени использования. Но при высоких температурах, они более стабильны, чем ниодимовые. Ниодимовые магниты значительно сильнее обычных при равных размерах. При изменении температуры сила ниодимового магнита меняется примерно 0,11%/°C (Альнико магнит 0,02%/°С). Это не проблема, если датчики установлены в термостабильном бункере, но для датчиков установленных на улице или в месте подверженном большому сезонному изменению температуры, это может привести к отклонению параметров в несколько процентов от калибровочных. Кроме этого, ниодимовые магниты более подвержены коррозии, что необходимо учитывать. Вообще, ссылки на специальные характеристики магнитов этих классов показывают, что по интересующим нас параметрам (остаточная магнитная индукция и температурный коэффициент остаточной магнитной индукции) ниодимовые и альнико магниты очень схожи. Но альнико предпочтительней. При проведении экспериментов у нас не было возможности использовать новый альнико магнит. Поэтому, здесь делать окончательные выводы о предпочтительном типе магнита преждевременно.

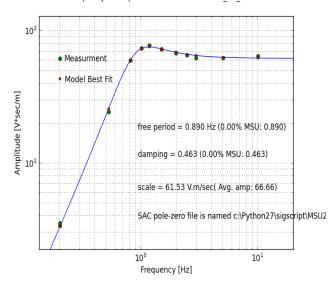


Р и с. 3. Магнит датчика СМ-3, используемый в тесте. Слева – оригинальный магнит, справа – новый ниодимовый, в центре – магнитопровод



Р и с. 4. Новый магнит для датчика ВЭГИК. В центре – магнитопровод. Вокруг него новый ниодимовый магнит в форме кольца. Снаружи алюминиевый кожух для сохранения оригинального вида и размера





Р и с. 5. Сравнительный тест выходного сигнала датчика СМ-3 с оригинальным магнитом (слева) и с ниодимовым (справа). Хотя графики расположены не на одной шкале, явно заметно увеличение выходного сигнала на правом графике

выходного Многие сети сейсмических наблюдений используют предварительные усилители выходного сигнала датчиков для записи. Плюсом здесь являются дешевизна усилителей и простота их подключения, настройки усиления могут быть легко адаптированы к требованиям записи. Самыми простыми и надежными решениями усиления являются схемы на операционных усилителях. Операционный усилитель (ОУ, англ. ОрАтр) является дифференциальным усилителем постоянного тока с двумя входами (инвертирующим и неинвертирующим) и одним выходом. Термин «дифференциальный» («different» переводится с английского как «разница», «различие», «разность») означает, что на выходной потенциал ОУ влияет исключительно разность потенциалов между его входами, независимо от их абсолютного значения и полярности. Термин «постоянного тока» означает, что усиливает ОУ входные сигналы начиная от 0 Гц. Верхний диапазон частот (частотный диапазон), усиливаемых ОУ сигналов зависит от многих причин, таких, как частотные характеристики транзисторов, из которых он состоит, коэффициента усиления схемы, построенной с применением ОУ и т.п. Кроме построения усилителей, ОУ могут быть применены и просто как повторители напряжения (буферные усилители). В такой схеме решается задача согласования импедансов между датчиком и аналогово-цифровым преобразователем (если в АЦП есть свой встроенный усилитель). Минусом здесь является необходимость применения двуполярного питания. Сигнал не может быть усилен выше значения питания ОУ. В любом случае, лучше устанавливать усилители непосредственно в датчике, чтобы не усиливать шумы индуцированные в сигнальных кабелях. К сожалению, для этого требуется подача электрического питания в датчик. Мы находимся в процессе испытаний усилителей разных конструкций.

Выводы. Электромеханические сейсмометры, изначально предназначенные для аналоговых систем регистрации, могут быть улучшены и адаптированы для цифровой записи. Трехуровневый подход к изменению сейсмометра включает перемотку катушки, замену магнита и установку миниатюрного малошумящего усилителя. Все три варианта повышают чувствительность и соотношение сигналшум датчика.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР. М.: Наука, 1982. 273 с.
- Экспериментальная сейсмика // Труды ИФЗ. М.: Наука, 1964. № 32 (199). С. 92.
- 3. *Jens Havskov, Gerardo Alguacil.* Instrumentation in Earthquake seismology // Institute of Solid Earth Physics, University of Bergen, Norway, 2002. 313 c.