

У ДК 550. 34

А.В. Троценко, доцент, канд. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

root@sevgtu.sebastopol.ua

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ СЕЙСМОПРИЕМНИК С СИСТЕМОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ОСИ

Рассмотрен вертикальный сейсмоприемник, оснащенный системой изменения ориентации измерительной оси жидкостного преобразователя, позволяющий в процессе сборки совместить ось с направлением вертикали, снизить поперечную чувствительность и обеспечить работоспособность в заданных пределах транспортных перегрузок и диапазоне предельных температур окружающей среды.

Для измерения горизонтальной, вертикальной и угловой составляющих сейсмического сигнала и параметров движения твердого тела находят применение жидкостные акселерометры, содержащие стеклянный преобразователь объемного расхода жидкости в электрический сигнал, установленный в прочном корпусе [1, 2].

Одной из проблем обеспечения эффективной работоспособности жидкостных сейсмоприемников является исключение разгерметизации стеклянного преобразователя или его смещения в корпусе в результате температурных и механических воздействий при транспортировке различными видами транспорта и эксплуатации. Для обеспечения неподвижности преобразователя закрепляют в корпусе промежуточным материалом – пластифицированным компаундом. Наличие внутренних напряжений, в связи с усадкой пластифицированного компаунда при отверждении, приводит к внутренним напряжениям между стеклянным преобразователем и прочным корпусом и последующей деформации. Изменение температуры окружающей среды из-за несоответствия температурных коэффициентов расширения стекла, компаунда и материала прочного корпуса, а также механические воздействия при транспортировке способствуют разрушению преобразователя, в связи с появлением дополнительных внутренних напряжений. По этой же причине ограничены габаритные размеры закрепляемого компаундом преобразователя, которые определяют коэффициент преобразования и частотные свойства.

Целью исследований является повышение транспортабельности в широком диапазоне температур и снижение чувствительности к горизонтальным составляющим входного сигнала вертикального сейсмоприемника, содержащего стеклянный преобразователь объемного расхода жидкости в электрический сигнал.

Разработан жидкостный акселерометр, содержащий стеклянный преобразователь с поверхностью, покрытой тонким слоем пластичного полимера, и закрепленный в прочном корпусе пластифицированным компаундом

Покрытие поверхности стеклянного преобразователя эластичным полимером снижает внутренние напряжения, обусловленные усадкой полимера в процессе отверждения и несоответствием температурных коэффициентов расширения стекла, компаунда и материала корпуса. Это позволяет расширить функциональные возможности акселерометра – диапазоны температурных и механических воздействий и увеличить габаритные размеры преобразователя и, соответственно, коэффициент преобразования и частотный диапазон измерений.

Однако покрытие поверхности преобразователя тонким слоем эластичного полимера не исключает наличия внутренних напряжений. Тонкий слой полимера и большая поверхность покрытия, сопрягаемая с компаундом обладают достаточной жесткостью, ограничивающей диапазоны температуры окружающей среды, механических воздействий и, соответственно, предельные габаритные размеры преобразователя. Слой полимера не обладает текучестью, т.к. заключен между поверхностями преобразователя и компаунда. При относительном изменении размеров эластичный слой подвержен воздействиям сжатия или расширения, которые приводят к появлению неравномерно распределенных напряжений, способствующих разрушению стеклянного преобразователя.

Предложено в акселерометре, содержащем стеклянный преобразователь, закрепленный в корпусе посредством промежуточного материала, в качестве последнего использовать сыпучий материал, который заполняет весь объем между поверхностями преобразователя и корпуса. При этом плотность сыпучего материала эквивалентна объемной плотности ρ_n преобразователя

$$\rho_n = V / m ,$$

где V , m – соответственно объем и масса преобразователя.

Эквивалентное соответствие плотности сыпучего материала объемной плотности преобразователя достигают как подбором сыпучего материала с учетом его физических и химических свойств, так и конструктивным исполнением самого преобразователя.

Для сборки предложенного акселерометра прочный корпус устанавливают на стол вибратора. Стеклообразователь опускают вовнутрь корпуса, ориентируют относительно поверхностей его стенок, например, симметрично противоположным стенкам, включают привод стола вибратора и засыпают корпус сыпучим материалом до уровня, соответствующего фиксированному состоянию преобразователя относительно корпуса. Преобразователь отпускают, сыпучий материал при вибрационном воздействии досыпают в корпус. Воздействие вибрации прекращают в момент стабилизации уровня заполнения, характеризующего отсутствие незаполненных объемов и нормированное заполнение сыпучего материала по объему. Закрывают корпус герметично крышкой.

Эквивалентное соответствие плотности сыпучего материала объемной плотности преобразователя и внутреннее трение частиц материала обеспечивают неизменность взаимной ориентации преобразователя и корпуса в рабочем диапазоне входных сигналов и механических воздействий транспортировки и эксплуатации.

Относительное изменение линейных размеров преобразователя и корпуса в диапазоне предельных температур происходит без возникновения внутренних напряжений в сыпучем материале, приводящих к разрушению преобразователя. Внутренние напряжения обусловлены только наличием внутреннего трения частиц сыпучего материала при изменении размеров преобразователя и корпуса. В рассматриваемом акселерометре отсутствуют ограничения к габаритным размерам стеклообразователя, что позволяет обеспечить необходимые коэффициент преобразования и частотный диапазон измерений за счет увеличения требуемого размера.

В свою очередь, произвольное положение преобразователя относительно опорных элементов корпуса после сборки не позволяет совместить измерительную ось с вертикалью, что снижает точность измерения вертикальной составляющей сейсмического сигнала.

Разработан вертикальный сейсмоприемник (см. рисунок 1), содержащий цилиндрический корпус 7, в котором установлены шаровая упругая опора 1 с центром А, расположенном на продольной оси корпуса, и две электромагнитные катушки 10 и 12, обмотки которых подключены соответственно к источникам 11 и 13 постоянного и переменного регулируемого напряжения. На опоре 1 с возможностью углового перемещения вокруг центра А закреплен стеклянный жидкостный преобразователь 2 сейсмического сигнала, измерительная ось 8 которого вертикальна. На преобразователе закреплены две ферромагнитные пластины или плоские магниты 3, взаимодействующие с катушками 10 и 12 в двух перпендикулярных плоскостях Б-Б и В-В. Между преобразователем 2 и внутренней стенкой корпуса 7 размещены упругие элементы 9 соосно катушкам 10 и 12. Преобразователь 2 подключен к измерителю 4 его выходного сигнала. Корпус 7 заполнен сыпучим материалом 6 и герметично закрыт крышкой 5.

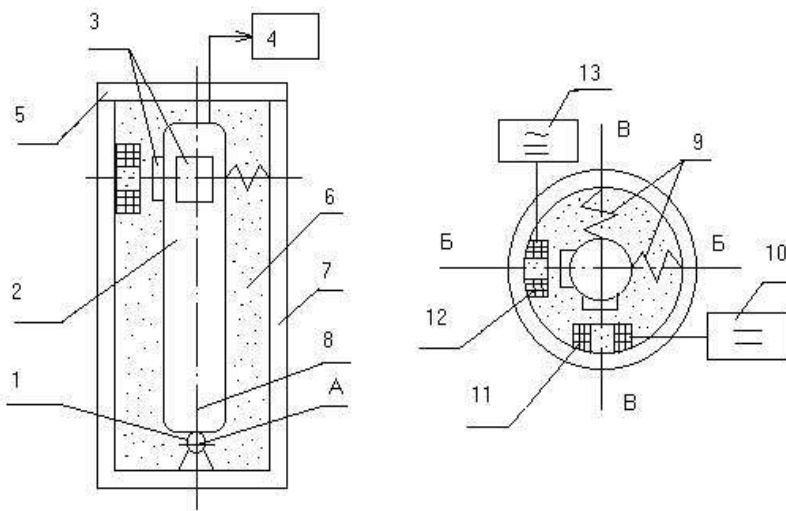


Рисунок 1 – Принципиальная схема сейсмоприемника

Сборку сейсмоприемника осуществляют следующим образом. Корпус 7 устанавливают на фундамент и опорными элементами корпуса выставляют его продольную ось по направлению местной вертикали.

Заводят в корпус преобразователь 2 и закрепляют его торец на шаровой опоре 1 (например, с помощью клея) таким образом,

чтобы ферромагнитные пластины (магниты) 3 находились напротив катушек 10 и 12, соосно катушкам устанавливают упругие элементы 9. Подключают катушки к источникам напряжения 11 и 13, а преобразователь 2 к измерителю 4. Производят засыпку корпуса сыпучим материалом 6, обеспечивая предварительную частичную фиксацию преобразователя в корпусе. В обмотку, например, катушки 12 от источника 13 подают переменное напряжение, изменяющееся по гармоническому закону с заданной амплитудой и частотой. В результате взаимодействия электромагнитного поля катушки 12 с пластиной 3 преобразователь 2 совершает угловые гармонические перемещения в плоскости Б-Б вокруг центра А по стрелке Д (см. рисунок 2, а).

При расположении измерительной оси 8 преобразователя 2 под углом α к проекции местной вертикали на плоскость Б-Б входной сигнал, воздействующий на преобразователь, определяет проекция вектора гравитационного ускорения на его измерительную ось в соответствии с выражением [3]

$$a = g \cos(\alpha + \varphi) = g (\cos\alpha \cos\varphi - \sin\alpha \sin\varphi),$$

где a – ускорение, действующее на преобразователь; g – ускорение свободного падения; φ – текущее значение угловых колебаний преобразователя.

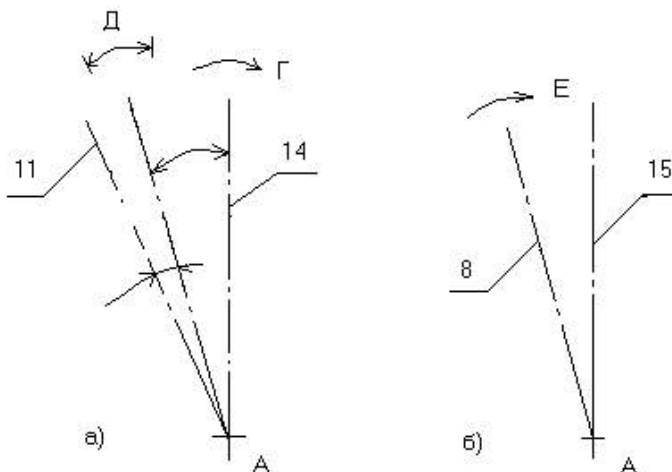


Рисунок 2 – Схемы угловых перемещений преобразователя:
 а) в вертикальной плоскости Б-Б, равномерное по стрелке Г и колебательное по стрелке Д;
 б) в вертикальной плоскости В-В, равномерное по стрелке Е

Разложим функции $\cos\varphi$ и $\sin\varphi$ в степенной ряд:

$$\cos\varphi = 1 - \varphi^2 / 2 + \varphi^4 / 4! - \varphi^6 / 6! + \dots;$$

$$\sin\varphi = \varphi - \varphi^3 / 3! + \varphi^5 / 5! - \dots$$

Пренебрегая составляющими разложения выше второй степени, получаем

$$\cos(\alpha + \varphi) = \cos\alpha (1 - \varphi^2 / 2) - \varphi. \quad (1)$$

Если φ изменяется по гармоническому закону, то

$$\varphi = \varphi_a \sin \omega t, \quad (2)$$

где φ_a – амплитуда угловых колебаний преобразователя; ω – круговая частота угловых колебаний; t – время.

Подставим (2) в (1) и получим

$$\cos(\alpha + \varphi) = \cos\alpha - 1/4 \varphi_a^2 + 1/4 \varphi_a^2 \cos\alpha \sin 2\omega t - \varphi_a \sin\alpha \sin \omega t. \quad (3)$$

Переменная составляющая выражения (3) равна

$$\cos(\alpha + \varphi)_{\text{var}} = \varphi_a (1/4 \varphi_a \cos\alpha \cos 2\omega t - \sin\alpha \sin \omega t).$$

Переменное ускорение, действующее на преобразователь, определяется как

$$a_{\text{var}} = g \varphi_a (1/4 \varphi_a \cos\alpha \cos 2\omega t - \sin\alpha \sin \omega t).$$

В обмотку катушки 12 от источника 13 подают постоянное напряжение, обеспечивая угловое перемещение преобразователя по стрелке Г (см. рисунок 2, а) в направлении совмещения его измерительной оси 8 с проекцией местной вертикали 14 на плоскость Б-Б. При этом, уменьшается амплитуда первой гармоники выходного сигнала преобразователя (уменьшается $\sin\alpha$) и увеличивается амплитуда второй гармоники (увеличивается $\cos\alpha$).

Поскольку амплитуда второй гармоники значительно меньше первой при $\alpha > \varphi_a$, уменьшение α приводит к уменьшению амплитуды выходного сигнала. Дальнейшее уменьшение α приводит к удвоению частоты выходного сигнала, т. е. проявлению второй гармоники на фоне первой. Форма сигнала характеризуется удвоением частоты и разностью амплитуд соседних периодов. Когда угол α становится равным 0 (измерительная ось 8 совмещается с проекцией местной вертикали 14 на плоскость Б-Б), первая гармоника исчезает. Выходной сигнал преобразователя 2 на

измерителе 4 характеризуется удвоением частоты и равными амплитудами соседних периодов, т. е. является гармоническим с двойной частотой входного воздействия.

От источника 11 в обмотку катушки 10 подают постоянное регулируемое напряжение, обеспечивая в результате электромагнитного взаимодействия поля катушки 10 с пластиной 3 перемещение преобразователя 2 в плоскости В-В по стрелке Е (см. рисунок 2, б) в направлении совмещения измерительной оси 8 с проекцией местной вертикали 15 на плоскость В-В. Совмещение с проекцией вертикали 15 характеризуется максимумом выходного сигнала преобразователя. В этом положении преобразователя 2 производят дозасыпку корпуса 7 сыпучим материалом 6 до полной фиксации преобразователя в корпусе 7. Отсоединяют катушки 10 и 12 от источников 11 и 13, а преобразователь 2 от измерителя 4 и закрывают корпус крышкой 5. Сейсмоприемник готов к измерению вертикальной составляющей сейсмического сигнала.

Изготовлен макет вертикального сейсмоприемника со стеклянным преобразователем сложной формы длиной приблизительно 1 м, установленный в стальной корпус, заполненный молотым тальком.

Экспериментальными испытаниями макета установлено следующее:

1) сейсмоприемник работоспособен после воздействия транспортных ударных и гармонических перегрузок до 4g и предельных температур в диапазоне от минус 20° С до + 50° С;

2) система перемещения преобразователя в корпусе при сборке позволяет совместить измерительную ось с направлением вертикали; чувствительность сейсмоприемника к поперечным (горизонтальным) ускорениям не превышает 1 %.

После изготовления опытной партии сейсмоприемников необходимо провести комплекс типовых функциональных испытаний в соответствии с методиками, разработанными для аттестации средств измерения линейных ускорений. Кроме того, необходимо исследовать влияние неизмеряемых составляющих сейсмического сигнала на выходной сигнал горизонтального, углового и трехкомпонентного сейсмоприемников, что и составляет перспективы дальнейших разработок в данном направлении.

Библиографический список

1. Троценко А.В. Жидкостный преобразователь угловых ускорений сейсмического сигнала / А.В. Троценко // Оптимизация производственных процессов. Сб. науч. тр. — Севастополь, 1999. — Вып. 2. — С. 91 – 95.

2. Абрамович И.А. Разработка сейсмодатчиков на новых технологических принципах (молекулярная электроника) / И.А.Абрамович, В.М.Агафонов, С.К.Дараган // Сейсмические приборы. — 1999. — Вып.31. — С. 56 – 71.

3. Троценко А.В. Способы расширения диапазона градуировки преобразователей ускорения гравитационным методом / А.В.Троценко, Ю.Г.Брунштейн // Метрология. — 1989. — № 2. — С. 30 – 35.

Поступила в редакцию 12.01.2005 г.