

УДК 550. 34

**А.В.Троценко, доц., канд. техн. наук, И.А.Полянцев**

*Севастопольский национальный технический университет*

*Студгородок, г.Севастополь, Украина, 99053*

*[root@sevgtu.sebastopol.ua](mailto:root@sevgtu.sebastopol.ua)*

## **УСТАНОВЛЕНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К ЭЛЕМЕНТАМ КОНСТРУКЦИИ ЖИДКОСТНОГО СЕЙСМОПРИЕМНИКА**

*Рассмотрена методика определения точностных требований к конструктивным и технологическим элементам жидкостных сейсмоприемников двух типов-размеров.*

Жидкостные сейсмоприемники (ЖС) предназначены для определения вертикальной и горизонтальной составляющих линейного ускорения сигналов, обусловленных геофизическими процессами сейсмического характера, оползнями, их последствиями (цунами), явлениями в атмосфере, морях и океанах. Сейсмоприемники могут быть применены для определения ускорений, связанных с индустриальной деятельностью человека: взрывов, движения водного, воздушного и наземного транспорта, сооружением плотин, водохранилищ, использованием ресурсов Земли в больших объемах, а также для контроля состояния промышленных сооружений. Принцип действия ЖС основан на использовании жидкости в качестве чувствительного к ускорению элемента и последующего преобразования ее объемной скорости в электрический сигнал [1].

Преобразователи содержат электронные устройства согласования выходного сигнала с измерительной техникой и его частотной фильтрации. Предусмотрено подключение к системам регистрации сигналов типовых сейсмостанций. Установка, настройка и эксплуатация не требуют специальной подготовки обслуживающего персонала. Сейсмоприемники просты в обращении.

Анализ динамической модели и модели погрешности ЖС, учитывающих особенности конструктивного исполнения промежуточных преобразователей, наличие газовых включений в рабочей жидкости, одновременное воздействие сейсмических сигналов и основных влияющих величин, является основой установления технологических требований к элементам конструкции ЖС.

Характеристикой, позволяющей определить значения измеряемых величин, является функция преобразования. Влияние на функцию преобразования ЖС значительного числа параметров гидромеханической и молекулярно–электронной систем и значительное число источников изменения этих параметров от образца к образцу и во времени

предполагает определение и контроль индивидуальных характеристик для каждого экземпляра ЖС.

Анализ показывает, что ЖС не реагирует на постоянную во времени измеряемую величину: при круговой частоте  $\omega = 0$ ; функция преобразования  $f(x) = 0$ . Для этих ЖС принято определять зависимость коэффициента преобразования от амплитуды входного сигнала в рабочем диапазоне частот, в котором относительная погрешность не превышает 20 % [2].

Основной характеристикой функционального назначения ЖС является коэффициент преобразования как отношение амплитуды выходного сигнала (сила тока в цепи измерительных электродов) к амплитуде входного сигнала (ускорение сейсмического сигнала) [3].

Зависимость коэффициента преобразования от геометрических и физико-механических параметров элементов конструкции ЖС и частоты входного сигнала определяется формулой

$$K = l \rho F C_O \omega_B \left[ \left( R_G^2 \omega^2 + c^2 \right) \left( \omega_B^2 + \omega^2 \right) \right]^{-\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

где  $l$  – осевая длина чувствительного элемента;  $\rho$  – плотность рабочей жидкости;  $R_G$  – гидродинамическое сопротивление электрохимической ячейки;  $F$  – число Фарадея;  $C_O$  – концентрация реагирующего компонента;  $\omega_B$  – верхняя граничная частота электрохимической ячейки;  $\omega$  – круговая частота входного сигнала;  $C$  – жесткость упругого элемента.

Для ЖС с газовыми объемами

$$C = \frac{2P_O}{V_G},$$

где  $P_O$  – остаточное давление в газовых объемах;  $V_G$  – объем газа в каждом из отсеков ЖС,

$$V_G = \frac{\pi d^2 (\pi d - 8a)}{32},$$

где  $d$  – внутренний диаметр цилиндрического отсека ЖС;  $a$  – расстояние от измерительной оси ЖС до границы раздела жидкость – газ.

Для обеспечения идентичности характеристик ЖС от образца к образцу и при различных конструктивных исполнениях (типоразмерах) необходимо установить зависимость допуска функции (коэффициента преобразования) от допусков аргументов (параметров элементов конструкции).

Уравнение (1) представляет собой зависимость различных физических величин, поэтому задачу установления норм точности будем решать в относительном виде. Поскольку параметры элементов конструкции ЖС являются случайными и, как правило, независимыми друг от друга величинами,

связь допуска на отклонение функции  $\delta K$  с допусками, ограничивающими отклонения аргументов  $\delta X_i$ , определяется зависимостью

$$\delta K = \sqrt{\sum_{i=1}^n \xi_{io}^2 n_i^2 \delta X_i^2} \quad ,$$

где  $\xi_{io}$  – относительное передаточное отношение

$$\xi_{io} = \frac{\partial K}{\partial X_i} \frac{X_i}{K} \quad ;$$

$n_i$  – коэффициент, учитывающий закон рассеивания отклонений аргументов.

Задаваясь допуском функции  $\delta K$ , определяем значение среднего допуска аргумента по формуле

$$\delta X_{cp} = \delta K / \sqrt{\sum_{i=1}^n \xi_{io}^2 n_i^2} \quad . \quad (2)$$

Далее оцениваем технологические возможности получения среднего допуска для каждого аргумента зависимости (1), устанавливаем стандартные значения допусков в соответствии с нормативной документацией, определяем расчетные значения допуска функции  $\delta K_p$  и сравниваем с заданным  $\delta K_p \leq \delta K$ .

Продифференцировав уравнение связи (1) по каждому аргументу, после преобразования получим относительные передаточные отношения в виде:

$$\begin{aligned} \xi L &= \xi \rho = \xi F = \xi C_0 = 1; \\ \xi \varpi_B &= \frac{\varpi^2}{\varpi_B^2 + \varpi^2}; & \xi R_\Gamma &= -\frac{R_\Gamma^2 \varpi^2}{R_\Gamma^2 \varpi^2 + c^2}; \\ \xi P_0 &= -\frac{4096 P_0^2}{(R_\Gamma^2 \varpi^2 + c^2) \pi^2 d^4 (\pi d - 8a)^2}; & \xi d &= \frac{4096 P_0^2 (3\pi d - 16a)}{(R_\Gamma^2 \varpi^2 + c^2) \pi^2 d^4 (\pi d - 8a)^3}; \\ \xi a &= \frac{32768 P_0^2 a}{(R_\Gamma^2 \varpi^2 + c^2) \pi^2 d^4 (\pi d - 8a)^3}. \end{aligned}$$

Номинальные значения параметров конструкций двух типоразмеров вертикальных ЖС: ПДВС-12 и ПДВС-15 с нижними граничными частотами соответственно  $f_{н12}=0,025$  Гц и  $f_{н15}=0,17$  Гц и верхней граничной частотой  $0,15$  Гц представлены в таблице 1.

Поскольку относительные передаточные отношения величин  $\omega_B$ ,  $R_\Gamma$ ,  $P_0$ ,  $d$  и  $a$  зависят от частоты  $\omega$  измеряемого сейсмического сигнала, определим значения передаточных отношений на фиксированных частотах в диапазоне измерений от  $0,01$  до  $10$  Гц. Результаты расчета сведены в таблицу 2.

Таблица 1 – Значения параметров ЖС

| Преобразователь | $R_f$ , Па·с/<br>м <sup>3</sup> | $P_0$ ,<br>Па | $\omega_B$ ,<br>рад/с | $d$ ,<br>мм | $a$ ,<br>мм |
|-----------------|---------------------------------|---------------|-----------------------|-------------|-------------|
| ПДВС-12         | $3 \cdot 10^9$                  | $10^4$        | 0,942                 | 58          | 5           |
| ПДВС-15         |                                 |               |                       | 28          | 3           |

Таблица 2 – Значения относительных передаточных отношений

| Преобразователь     | ПДВС-12 |       |      |     | ПДВС-15 |       |       |     |
|---------------------|---------|-------|------|-----|---------|-------|-------|-----|
| Частота сигнала, Гц | 0,01    | 0,15  | 1    | 10  | 0,01    | 0,15  | 1     | 10  |
| $\xi R_f$           | -0,16   | -0,98 | - 1  | - 1 | 0       | -0,44 | -0,97 | - 1 |
| $\xi P_0$           | -0,85   | -0,02 | 0    | 0   | - 1     | - ,57 | -0,03 | 0   |
| $\xi \omega_B$      | 0       | 0,5   | 0,98 | 1   | 0       | 0,5   | 0,98  | 1   |
| $\xi d$             | 2,78    | 0,07  | 0    | 0   | 3,76    | 2,13  | 0,11  | 0   |
| $\xi a$             | -0,24   | -0,06 | 0    | 0   | -0,35   | -0,19 | 0     | 0   |

Задаваясь относительным допуском коэффициента преобразования  $\delta K = 0,2$ , определяем значение среднего допуска каждого аргумента.

В формулу (2) подставляем из таблицы 2 максимальные значения передаточных отношений для каждого аргумента во всем частотном диапазоне измерений сейсмических сигналов. Принимаем нормальный закон рассеивания отклонений аргументов, тогда  $n_i = 1$ .

Получим для ПДВС-12:

$$\delta X'_{cp} = \frac{0,2}{\sqrt{6 + 0,85^2 + 2,78^2 + 0,24^2}} = 0,2/3,81 = 0,0525;$$

для ПДВС-15:

$$\delta X''_{cp} = \frac{0,2}{\sqrt{7 + 3,76^2 + 0,35^2}} = 0,2/4,61 = 0,0434.$$

Абсолютные значения допусков аргументов и уточненные значения (в скобках), полученные после технологического анализа, представлены в таблице 3.

Расчетные значения допуска функции  $\delta K_r$  составили: для ПДВС-12 – 0,197; для ПДВС-15 – 0,194. Поскольку расчетные значения допуска меньше заданного, то установленные нормы точности соответствуют предъявляемым требованиям.

Таблица 3 – Абсолютные значения допусков аргументов

| Преобразователь       | ПДВС-12 | ПДВС-15  |
|-----------------------|---------|----------|
| $\delta l, 10^{-3}$ м | 21 (20) | 2,17 (2) |

|                                               |               |               |
|-----------------------------------------------|---------------|---------------|
| $\delta\rho, 10^2 \text{ кг/м}^3$             | 0,761 (0,75)  | 0,629 (0,65)  |
| $\delta C_o, \text{ моль/м}^3$                | 2,63 (2,6)    | 2,17 (2,2)    |
| $\delta\omega_B, \text{ рад/с}$               | 0,0495 (0,05) | 0,0409 (0,04) |
| $\delta Rr, 10^8 \text{ Па}\cdot\text{с/м}^3$ | 1,58 (1,6)    | 1,3 (1,3)     |
| $\delta P_o, 10^2 \text{ Па}$                 | 5,25 (5)      | 4,34 (4)      |
| $\delta d, 10^{-3} \text{ м}$                 | 3,05 (3)      | 1,22 (1,2)    |
| $\delta a, 10^{-3} \text{ м}$                 | 0,26 (0,25)   | 0,13 (0,13)   |

В результате проведенных расчетов установлено, что поддержание допусков параметров элементов конструкции ЖС при реализации техпроцесса их изготовления в пределах для ПДВС-12 –  $\pm 2,5\%$  (для ПДВС-15 –  $\pm 2\%$ ), позволяет обеспечить идентичность основных характеристик ЖС от образца к образцу в пределах заданного значения  $\pm 10\%$ .

После реализации технологического процесса изготовления рассмотренных преобразователей необходимо по разработанной методике установить нормы точности конструктивных элементов других представителей параметрического ряда ЖС (ПДУУ – 18, ПДГС – 21 и др.).

#### ***Библиографический список***

1. 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.
2. Троценко А.В. Разработка и исследование методов и средств функциональных исследовательских испытаний жидкостных глубоководных сейсмоакустических преобразователей: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.11.01.- Защищена 28.04.90; Утверждена 15.08.90; 021621 /ВНИИМ; Севастополь, 1990. — 23 с.: ил. — Библиогр.: С. 22 – 23.
3. Троценко А.В. Оптимизация конструкции молекулярно – электронного Сейсмопреобразователя / А.В.Троценко // Оптимизация производственных процессов: Сб. науч. тр. — Севастополь, 2002. — Вып.5. — С. 79 – 83.

***Поступила 30.10.2001 г.***