

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЕГО ВЫХОДНОГО СИГНАЛА

О.Ю. Бушуев, А.С. Семенов

## EXPERIMENTAL RESEARCH OF POSSIBILITY TO CHECK THE CONDITION OF A STRAIN PRESSURE TRANSDUCER ON THE BASIS OF ANALYSIS OF ITS SIGNAL OUTPUT

O.Yu. Bushuev, A.S. Semenov

Рассматривается экспериментальное исследование методики диагностики технического состояния тензопреобразователя давления, основанной на оценке его динамической характеристики. Приведены результаты эксперимента и критерий, позволяющий сделать предварительные выводы о возможности использования данного метода диагностики.

*Ключевые слова:* частотная характеристика, тензопреобразователи давления, диагностика технического состояния датчика давления, методы оценки собственных частот.

The article considers experimental research of methodology for diagnostics of a technical condition of a strain pressure transducer based on the assessment of its dynamic characteristics. The results of experiment and criterion making it possible to make preliminary conclusions about the possibility to use this method of diagnostics are given.

*Keywords:* frequency response characteristics, strain pressure transducer, diagnostics of a pressure sensor technical condition, methods for assessment of free frequency.

### Введение

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к средствам измерения, обладающим большей надежностью и безопасностью по сравнению с традиционными приборами. Разрабатываются так называемые интеллектуальные устройства, одной из характерных черт которых является возможность диагностики и самодиагностики текущего технического состояния. Особенно высока потребность в данных приборах в таких областях производства, как нефтехимическая промышленность или атомная энергетика [1].

В данном исследовании рассматривается диагностика технического состояния тензопреобразователя давления, а в качестве средства диагностики используется контроль частотной характеристики преобразователя, получаемой на основе анализа его выходного сигнала. Методика диагно-

стики, основанная на этом принципе, изложена в работах [2, 3].

Целью данной работы является экспериментальное подтверждение возможности использования частотной характеристики, определяемой по выходному сигналу преобразователя давления, для диагностики состояния преобразователя.

Теоретическая возможность такого рода диагностики технического состояния тензометрического преобразователя давления была показана в [2]. Результаты моделирования методом конечных элементов позволяют проследить связь между максимумами частотной характеристики преобразователя и его конструктивными элементами. Другими словами, изменение параметров конструктивных элементов преобразователя должно привести к изменению вида частотной характеристики. К сожалению, в упомянутой работе не было

---

Бушуев Олег Юрьевич – аспирант, младший научный сотрудник кафедры информационно-измерительной техники, Южно-Уральский государственный университет; bushuev@init.susu.ac.ru

Семенов Александр Сергеевич – канд. техн. наук, вед. инж. кафедры информационно-измерительной техники, Южно-Уральский государственный университет; 560101@rambler.ru

---

Oleg Yurievich Bushuev – postgraduate student, junior research assistant of Information and Measuring Technology Department of South Ural State University; bushuev@init.susu.ac.ru.

Alexander Sergeevich Semenov – Candidate of Science (Engineering), leading engineer of Information and Measuring Technology Department of South Ural State University; 560101@rambler.ru.

приведено какого-либо экспериментального подтверждения выдвинутой гипотезы. Исследования, результаты которых приведены в предлагаемой статье, решают эту проблему.

### 1. Описание экспериментального исследования

Для проведения экспериментов, необходимых для решения поставленной задачи, в качестве возбуждения собственных колебаний конструкции тензопреобразователя был использован ультразвуковой импульс давления (подробнее см. [3]). Экспериментальные исследования частотных характеристик преобразователя проводились на стенде, схема которого приведена на рис. 1. Регистрация отклика тензомоста на импульс давления производилась при помощи цифрового осциллографа Tektronix DPO 4034. Для упрощения процедуры получения и обработки выходного сигнала преобразователя было проведено согласование осциллографа с компьютером через коммуникационный протокол VISA и среду MatLab, что позволило автоматизировать обработку данных. Для оперативного управления осциллографом при помощи средств Instrument Control Toolbox MatLab была написана специальная программа, которая позволяет подключить осциллограф к компьютеру и использовать его как элемент обработки сигналов, не нуждающийся в дополнительных указаниях со стороны оператора. Выходной сигнал записывался с частотой дискретизации 500 кГц. Спектральную характеристику сигналов получали при помощи

быстрого преобразования Фурье с разрешением по частоте 200 Гц.

Экспериментальное исследование возможности диагностики состояния тензометрического преобразователя давления проводилось следующим образом.

К разделительной мембране преобразователя давления прикрепляли дополнительные грузы различной массы:

- груз диаметром 4 мм и массой 0,04 г (груз 1);
- груз диаметром 6 мм и массой 0,136 г (груз 2);
- груз диаметром 8 мм и массой 0,32 г (груз 3).

Это присоединение моделирует возможную в реальном процессе ситуацию налипания «грязи» или засорения мембраны. В ходе эксперимента данные грузы помещались в различные места разделительной мембраны преобразователя и, таким образом, исследовалось влияние положения и массы груза на спектр выходного сигнала тензометрического преобразователя давления.

На рис. 2 представлены экспериментальные спектры выходного сигнала тензометрического преобразователя давления без присоединенной массы и с грузом 3, помещенным в центр мембраны. Как видно из графиков, наличие груза существенно изменяет спектр сигнала. Заметно изменилось соотношение между максимумами частотной характеристики на определенных частотах. Наиболее существенные изменения произошли в области частот 17,8 кГц, 26,4 кГц и 33,4 кГц. В то же время отдельные частотные пики сохранили свое положение (14 кГц и 44,6 кГц).

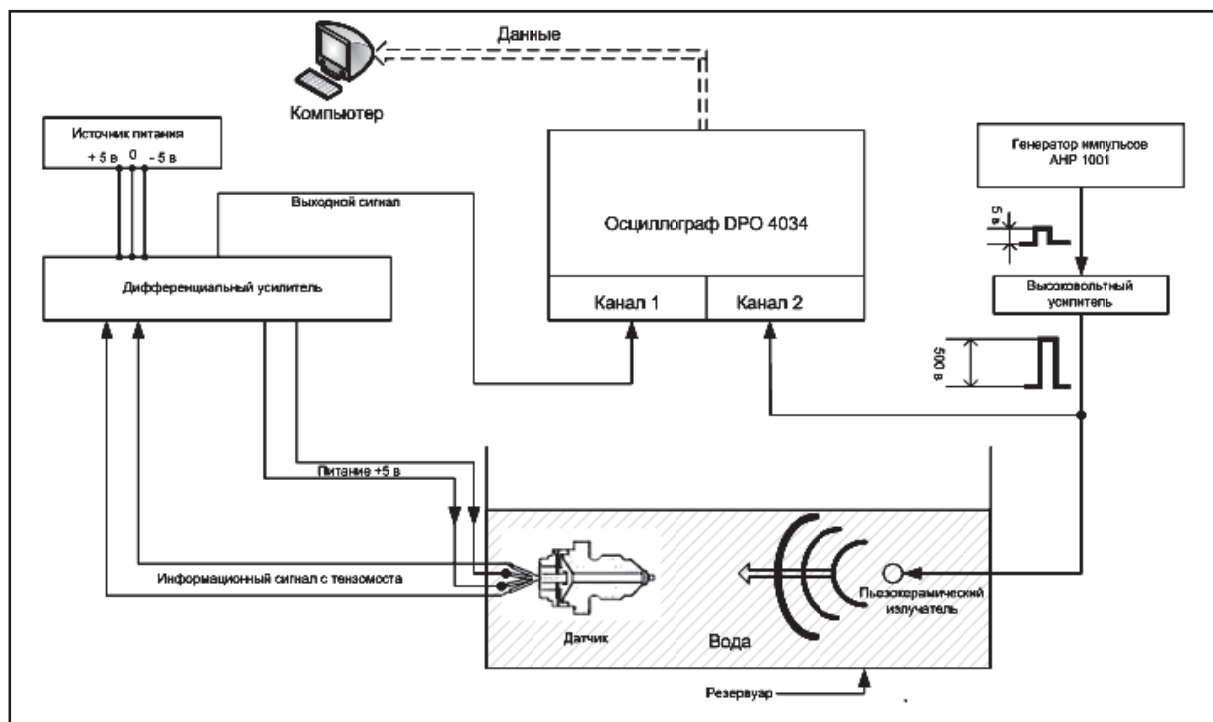


Рис. 1. Схема стенда для измерения входного и выходного сигналов

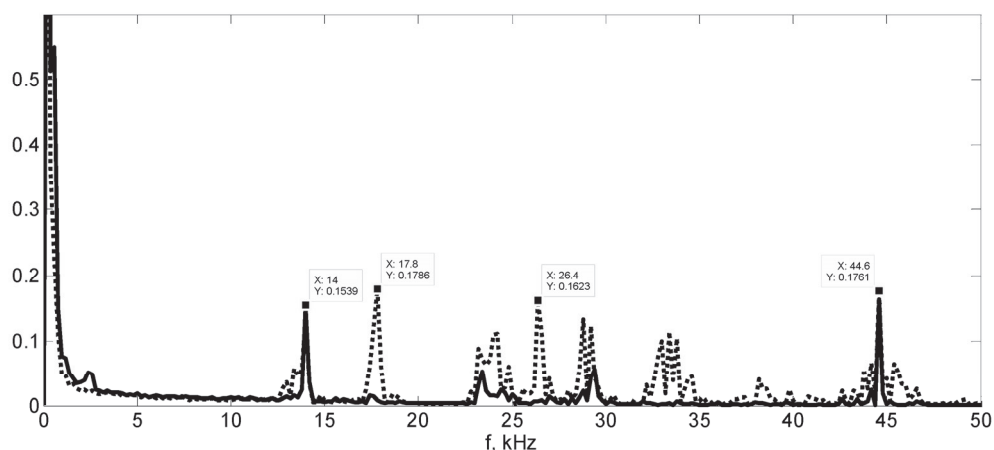


Рис. 2. Спектры выходного сигнала преобразователя давления без дополнительной массы (пунктирная линия) и с грузом 3 в центре разделительной мембраны (сплошная линия)

Помещение в центр мембраны грузов разной массы показало, что значение присоединенной массы влияет на спектр сигнала менее значительно, чем само наличие груза. То есть изменение спектра сигнала при наличии груза массы 0,04 или 0,32 г практически одно и то же.

Для исследования влияния положения присоединенной массы на спектр сигналов грузы помещались на край разделительной мембраны преобразователя давления. Результаты данного эксперимента показывают, что спектр сигнала при наличии присоединенной дополнительной массы на краю мембраны также отличается от спектра сигнала без присоединенной дополнительной массы, но при этом отличается и от спектра сигнала в случае расположения груза в центре мембраны.

Обобщая полученные результаты, можно заключить, что дополнительная присоединенная масса влияет на спектр выходного сигнала, причем было замечено, что имеет значение как положение дополнительной присоединенной массы, так и ее величина. Следовательно, по изменению спектра выходного сигнала преобразователя давления, в принципе, можно сделать вывод о наличии дополнительной присоединенной массы на его разделительной мембране и ее положении, что в свою очередь может быть использовано для классификации неисправностей сенсора по изменению частотного спектра его выходного сигнала.

## 2. Количественная оценка изменения спектра выходного сигнала

Обработка выходных сигналов преобразователя производилась при помощи быстрого преобразования Фурье с разрешением по частоте 200 Гц. Это означает, что используемый метод спектрального анализа не позволяет выявлять незначительные изменения значения частоты колебаний. Кроме того, метод Фурье изначально ориентирован на определение всего спектра, а не на возможно бо-

лее точное определение значения конкретной частоты.

Учитывая данный недостаток метода спектрального анализа, для количественной оценки изменения спектра вследствие наличия добавленной присоединенной массы было предложено использовать «критерий зонной корреляции», предложенный в работе [4]. Суть его заключается в следующем: выбирается некоторая ширина частотной зоны (например, 1 кГц) и для каждого диапазона частот данной ширины (то есть для диапазонов частот от 0 до 1 кГц, от 0,2 до 1,2 кГц и т.д.) рассчитывается коэффициент корреляции  $R_{nch}$  между спектрами выходного сигнала преобразователя в нормальном и измененном состоянии. Затем рассчитывался коэффициент корреляции  $R_n$  между спектрами разных реализаций выходного сигнала сенсора в нормальном состоянии. Так как для каждого сигнала было получено не менее 50 реализаций, то коэффициенты корреляции между спектрами подобных реализаций усреднялись. После этого находилось значение параметра  $dR$ , который представляет собой разность усредненных значений указанных коэффициентов корреляции:  $dR = \langle R_n \rangle - \langle R_{nch} \rangle$ .

В результате исследования экспериментальных реализаций при помощи усреднения коэффициентов корреляции и вычисления параметра  $dR$  можно сделать вывод о выраженном изменении спектра выходного сигнала преобразователя при наличии присоединенной массы в определенных зонах частот (рис. 3), значения графика нормированы на максимальное значение.

Для более точного определения количественных границ зон, в которых изменения спектра максимальны, была применена методика сдвига графика  $dR$  на ширину зоны вычисления коэффициента корреляции. В результате анализа были определены следующие области частот, в которых изменение спектра реального сигнала при наличии

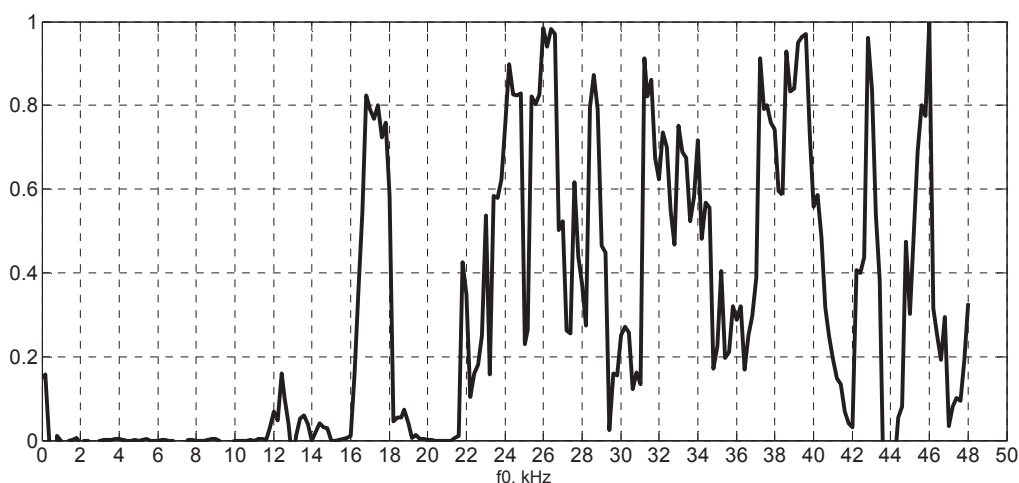


Рис. 3. Зонный критерий  $dR$  применительно к реальным сигналам тензопреобразователя давления при нормальном и измененном состоянии

дополнительной массы максимально (жирным выделены наиболее выраженные зоны): **17–18,2 кГц**; 24,6–25 кГц; 26,2–27,2 кГц; 29,2–29,4 кГц; 32–32,6 кГц; 33,6–34,2 кГц; **37–40 кГц, точнее 39,4–40 кГц**; **43–43,6 кГц**; 46–46,2 кГц. Практически тот же результат дает применение критерия с шириной зоны корреляции 2000 кГц: **17–18,2 кГц**; 23,8–27,2 кГц; 31,4–33,6 кГц; **38–40 кГц**. Выявленные устойчивые зоны рассогласования частотных характеристик свидетельствуют о существенном влиянии изменения массы диафрагмы.

Таким образом, проведенные исследования позволяют экспериментально подтвердить полученные ранее теоретические результаты о возможности диагностики тензометрического преобразователя давления с использованием частотных характеристик, получаемой путем анализа его выходного сигнала. В целях повышения качества диагностики в дальнейшем предполагается провести исследование алгоритмов оценки частотной характеристики преобразователя, влияния на нее внешних факторов, а также ее связи с другими возможными дефектами конструкции.

#### Литература

1. A review of process fault detection and diagnosis. Part I: Quantitative model-based methods / V. Venkatasubramanian, R. Rengaswamy, K. Yin, S. N. Kavuri // *Computers and Chemical Engineering*. – 2003. – Vol. 27.
2. Бушув, О.Ю. Исследование динамической характеристики тензопреобразователя давления с целью диагностики его состояния / О.Ю. Бушув, А.С. Семенов, А.О. Чернявский // *Датчики и системы*. – 2011. – № 4.
3. Бушув, О.Ю. Экспериментальная оценка динамических характеристик тензопреобразователей давления / О.Ю. Бушув, А.С. Семенов, А.Л. Шестаков // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение»*. – 2011. – № 1.
4. Бушув, О.Ю. Критерий для количественной оценки постоянства спектра выходного сигнала тензопреобразователя давления // *Наука. Технологии. Инновации: материалы Всероссийской научной конференции молодых ученых (Новосибирск, 1–4 декабря)*. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011.

Поступила в редакцию 5 апреля 2012 г.