

УДК 658.53: 681.317.7

DOI: 10.30987/conferencearticle\_5c19e5fc81e545.10661519

А. А. Вишневский, В.Х. Ясовеев

(г. Уфа, Уфимский государственный авиационный технический университет)

## **ПРИМЕНЕНИЕ СЕЛЕКТИВНОГО УСИЛИТЕЛЯ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ РАСХОДОМЕРОВ МАССЫ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ СМЕСЕЙ**

*Приведены направления изучения волоконно-оптических датчиков давления для расходомеров массы, актуальность изучения которых подтверждена в мировой практике. Выделены математические аспекты волоконно-оптических датчиков давления для расходомеров массы. Рассмотрена блок-схема селективного усилителя для коррекции погрешностей волоконно-оптических датчиков давления расходомеров массы газожидкостных смесей.*

*Considered directions of studying fiber-optic pressure sensors for mass flow meters, the relevance of the study of which is confirmed in world practice, are given. Mathematical aspects of fiber optic pressure sensors for mass flow meters are highlighted. A block diagram of a selective amplifier for the correction of errors in fiber-optic pressure sensors for mass flow meters of gas-liquid mixtures is considered.*

*Ключевые слова: расходомеры массы, волоконно-оптические датчики, селективный усилитель, коррекция погрешностей, газожидкостная смесь.*

*Keywords: mass flow meters, fiber-optic sensors, selective amplifier, correction of errors, gas-liquid mixture.*

### **Введение**

Основными критериями при создании датчиков массового расхода газожидкостных смесей (ГЖС), занимающих важное место при создании систем автоматического управления с коррекцией погрешностей [1], являются точность и быстродействие [2]. Многие датчики, обладающие высокой точностью и чувствительностью в условиях воздействия неблагоприятных факторов, могут быстро утратить стабильность и преждевременно выйти из строя. Поэтому при выборе любого датчика массового расхода необходимо тщательно увязать все основные метрологические параметры с требованиями по помехозащищенности и надежности, не ужесточая их без необходимости [3].

Рабочие процессы в расходомерах массы ГЖС характеризуются мгновенными изменениями давления, температуры и расхода. Кроме того, в датчиках давления, используемых в расходомерах массы, первостепенное значение имеют не только метрологические характеристики, но и надежность

в течение всего срока эксплуатации. Основными требованиями, предъявляемыми к датчикам давления в расходомерах массы ГЖС, являются:

1. Высокая точность (допустимая погрешность измерения  $0,1 \div 0,5$  %) при широком изменении температуры окружающей среды и ГЖС;
2. Высокое быстродействие (400÷1000 измерений в секунду) при одновременном исключении появления помех к протеканию ГЖС;
3. Высокая надежность в течение всего срока эксплуатации и высокая помехозащищенность в реальных условиях эксплуатации;
4. Простая и удобная для регулировок и обслуживания конструкция при минимальных габаритах и массе.

Совершенствование датчиков давления для регуляторов расхода массы ГЖС имеет цели: 1) снизить стоимость эксплуатации, 2) улучшить обслуживание. Хотя эти две задачи не исключают друг друга, их отдельное рассмотрение облегчает оценку технических возможностей.

В настоящее время во всем мире ведется интенсивная разработка новых датчиков давления в следующих направлениях:

- повышение точности и улучшение эксплуатационных свойств благодаря внедрению новых конструкторских решений, применению новых материалов и элементов с улучшенными свойствами;
- миниатюризация измерительных преобразователей и конструкции самих датчиков;
- внедрение в широком масштабе микропроцессоров и микроконтроллеров, совершенствующих процесс измерения и расширяющих возможности измерительных преобразователей;
- внедрение новых технических решений по волоконной оптике.

## **1. Волоконно-оптические датчики давления для расходомеров массы**

Исследования Уфимского государственного авиационного технического университета в области проектирования новых расходомеров массы ГЖС привели к разработке волоконно-оптических датчиков давления (ВОДД) [4]. Процесс разработки ВОДД условно разбит на два этапа: математическое и техническое моделирование.

На этапе математического моделирования ВОДД на основе вектора технических требований разработаны модель [5,6], структура и алгоритм его функционирования. Здесь же приведены исследования основных характеристик и погрешностей измерения ВОДД [7].

На этапе технического моделирования синтезированы принципиальные схемы ВОДД. Проведена оптимизация метрологических параметров на основе одного из критериев оптимальности и вектора технических требований [8].

На рис. 1 представлены [9]:

- а) волоконно-оптический датчик давления;

б) сечение объединенного конца жгута световодов.

Датчик состоит из корпуса 1, мембраны 2, отражателя 3, установленного в центре мембраны, жгута световодов 4, объединенные концы 5 которого сформированы в виде чередующихся подводящих 6 и отводящих 7 поток света жгута световодов. Разделенные концы 8 и 9 жгута световодов подведены соответственно к источнику 10 оптического излучения и фотоприемнику 11 с приемным усилителем. Каждое подводящее оптическое излучение волокнами 8 с двух сторон окружено отводящими оптическое излучение волокнами 9 и, наоборот, каждое отводящее волокно с двух сторон окружено подводящими волокнами. Постоянное натяжение по краю мембраны 2 создают конструкция упругого кольца 14 и способ закрепления мембраны к корпусу элементами крепления 12. Механическую защиту мембраны от посторонних предметов осуществляет защитный фильтр 13, а ориентацию объединенных торцов 5 относительно отражателя 3 определяет механизм юстировки 15.

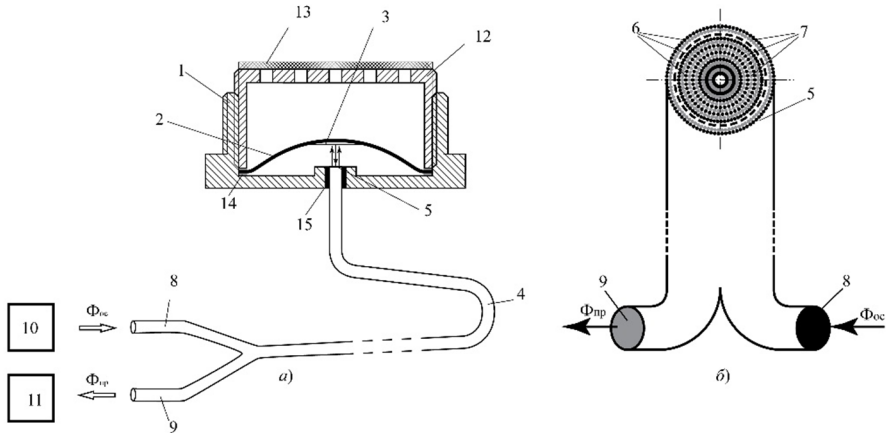


Рис. 1. Волоконно-оптический датчик давления

Датчик работает следующим образом. Отражательная пластина 3 совершает перемещение в соответствии с законом изменения давления и модулирует поток  $\Phi_{ос}$  оптического излучения источника 10. Далее этот модулированный поток через жгут световодов 9 возвращается на светочувствительную площадку фотоприемника 11, где преобразуется в адекватные по частоте и амплитуде электрические сигналы.

При измерении расхода массы определяющее значение имеют не только статическое давление, а также полные и динамические давления, обуславливаемые скоростным напором потока. Кроме того, измеряемым параметром является также и направление движения потока ГЖС в трубопроводах расходомера.

Полное давление испытывает неподвижное тело датчика давления, помещенное в движущийся поток, в тех точках, где скорость набегающего потока затормаживается до нуля. Согласно уравнению Бернулли, полное давление определяем как:

$$P_{\text{п}} = P_{\text{с}} + \rho \omega^2/2, \quad (1)$$

где  $P_{\text{с}}$  – статическое давление в потоке;  $\rho$  – плотность потока;  $\omega$  – скорость невозмущенного потока в месте замера.

Динамическое давление, или скоростной напор, определяет разность:

$$P_{\text{д}} = P_{\text{п}} - P_{\text{с}} = \rho \omega^2/2. \quad (2)$$

В общем случае погрешности измерения ВОДД зависят от изменения плотности измеряемых жидкостей и газов в пространстве и времени, давления и температуры окружающей среды, а также от локальных изменений скорости движения отдельных частиц жидкости или газов.

Так скорость движения ГЖС можно определить следующим выражением:

$$G = \sqrt{\frac{k P_{\text{п}}}{\rho}}, \quad (3)$$

где  $k$  – адиабатический коэффициент.

Так как плотность газов уменьшается с увеличением температуры, то и скорость движения газов является зависимым от температуры параметром. Для газов эта зависимость может быть представлена в следующем виде:

$$G = G_0 \sqrt{(1 + T/273)}. \quad (4)$$

Здесь  $G_0$  – скорость движения газов при  $T = 0^{\circ}\text{C}$ ,  $T$  – температура (К).

Относительная скорость движения ГЖС, как следует из этой формулы, составляет примерно 0,17 % на один градус.

Кроме того, скорость движения ГЖС в трубопроводах расходомера зависит от состава и относительной их влажности. Влияние относительной влажности является меньшим, чем влияние температуры или давления, и вносит максимальное дополнительное изменение скорости перемещения ГЖС.

## 2. Блок-схема приемного усилителя ВОДД

Рассмотрим некоторые параметры ВОДД, на которые следует обращать внимание при выборе датчиков для конкретного применения и их использования. Одним из компонентов микропроцессорной обработки измерительной информации ВОДД является приемный усилитель.

Блок-схема приемного усилителя ВОДД (рис. 2) состоит из ограничителя уровня амплитуды фототока, усилителя с регулируемым

коэффициентом усиления, селективного усилителя с активным фильтром и нормирующего выходного усилителя.

Сигнал, принимаемый от оптоэлектронного преобразователя, может иметь амплитуду в диапазоне от нескольких микровольт до нескольких вольт. Для обеспечения возможности дальнейшей обработки ограничитель отсекает амплитуды принимаемых сигналов до значений, не превышающих  $\pm 0,7$  В. Это также защищает усилитель от слишком высокого напряжения. Фоновые сигналы ВОДД подавляются на усилителе с регулируемым коэффициентом усиления. Этот же усилитель совместно со схемой управления усилением препятствует уменьшению амплитуды измерительных сигналов при уменьшении мощности излучения полупроводникового лазера.

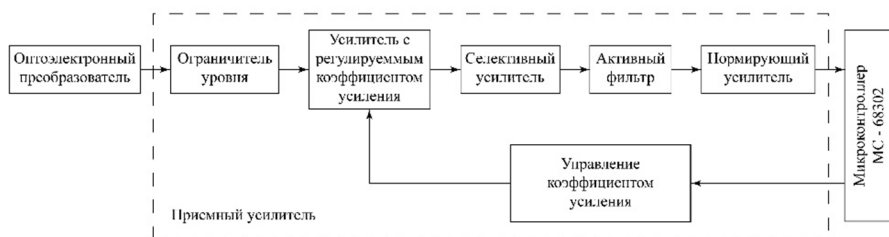


Рис. 2. Блок-схема приемного усилителя ВОДД

Назначение селективного усилителя с активным фильтром заключается в том, чтобы отфильтровать электромагнитные помехи схем ВОДД и пропускать к дальнейшей обработке только полезный сигнал. Этот сигнал сначала демодулируется, и только затем полученная огибающая усиливается. Амплитуда огибающей далее нормируется с предварительно установленным порогом для конкретного АЦП и передается для обработки в микроконтроллер.

Дополнительным преимуществом данной схемы является то, что алгоритм обработки может быть не жестко установленным, а гибким и реализованным в виде программы. Одна и та же микроконтроллерная схема обработки может применяться для различных ВОДД или выполнять обработку сигналов по разным алгоритмам.

В заключение следует отметить, что промышленная эксплуатация опытных образцов ВОДД в составе расходомеров массы ГЖС показала перспективность их использования. Номенклатура датчиков для расходомеров массы ГЖС хорошо структурирована для самых разнообразных применений, что позволяет максимально быстро корректировать процесс их разработки в соответствии с системой качества ISO 9001 и требованиями рынка.

## Список литературы

1. *Vishnevskiy, A. A., Yasoveev, V. Kh., Khasanov, Z. M.* "Correction of Dynamic Errors of Fiber-optic Pressure Sensor based on Estimation of Nonlinearity Value of Membrane Stress-strain Behavior and Adaptive Method", 2nd International Ural Conference on Measurements (UralCon), Chelyabinsk, Russia, 2017. DOI: 10.1109/URALCON.2017.8120730
2. *Vishnevskiy A. A., Khasanov Z. M., Khasanov O.Z.* "Modeling of heat transfer processes of the thermally stressed state of conjugated deformable bodies in fuel-control equipment", XXVII international conference «Mathematical and computer simulation in mechanics of solids and structures – MCM 2017» Fundamentals of static and dynamic fracture. – St. Petersburg. – 2018. – P.148-152. ISSN 2588-0233
3. *Вишневский, А.А.* Расчетная модель метрологических характеристик волоконно-оптических измерительных устройств/ А.А. Вишневский, В.Х. Ясоев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук.– 2016. – № 4(7). – Т. 18. – С. 1359 – 1362.
4. *Вишневский, А.А.* Распределенные волоконно-оптические информационно-измерительные системы давления и температуры для применения в нефтегазовой сфере/ А.А. Вишневский // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – №2 (30). – С.193 – 207.
5. Свидетельство о гос. регистрации программы ЭВМ № 2018661064. Программа для моделирования распространения светового потока в пространстве, 2018 г. / Вишневский А.А., Ясоев В.Х., Хасанов З.М., № 2018617706; заявл. 23.07.2018; опубл. 31.08.2018.
6. *Вишневский, А.А.* Интеллектуальный подход к улучшению метрологических характеристик волоконно-оптических систем измерения давления и температуры, предназначенных для нефтегазовой отрасли/ А.А. Вишневский, В.Х. Ясоев // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 3(31). – С. 158 – 167.
7. *Vishnevskiy, A. A., Yasoveev, V. Kh., Khasanov, Z. M.* "Correction of Dynamic Errors of Fiber-optic Pressure Sensor Based on Dynamic Reflexive Transformation Method", International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), St. Petersburg, Russia, 2017. DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076120
8. *Vishnevskiy A. A., Yasoveev V. Kh., Khasanov Z. M., Khasanov O.Z.* "Estimation of dynamic errors in laser optoelectronic dimension gauges for geometric measurement of details", VIII International Scientific and Practical Conference "Information and Measuring Equipment and Technologies" (IME&T 2017). – Tomsk. – 2018. – P.1-8. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815501042>
9. Патент № 180032 РФ Волоконно-оптический датчик давления 2018 г. / Вишневский А.А. Ясоев В.Х., Хасанов З.М., Хасанов О.З., № 2017139288; Заяв.13.11.2017; Опубл.31.05.2018.

*Материал поступил в редколлегию 04.10.18.*