

Волоконно-оптический расходомер для судовых информационно-измерительных систем

Сандлер Альберт Кириллович¹, Карпилов Александр Юрьевич²
НУ "Одесская морская академия", Одесса, Украина
albertsand4@gmail.com¹, kau.onma@gmail.com²

Fiber optic flowmeter for ship information and measuring system

Sandler A.¹, Karpilov O.²
NU "Odessa Maritime Academy", Odessa, Ukraine
albertsand4@gmail.com¹, kau.onma@gmail.com²

Резюме – Разработанное измерительное устройство обеспечивает: компенсацию влияния неконтролируемых эксплуатационных и климатологических факторов на измерительный и дополнительный канал; отсутствие дополнительных механических натяжителей световодов; защищенность чувствительных элементов устройства; постоянность геометрии оптического канала в условиях влияния неконтролируемых эксплуатационных факторов; идентичность расположения основного и дополнительного каналов относительно потока контролируемой жидкости; повышенную чувствительность и точность прибора.

Abstract – The proposed design of the flow meter differs in that the main and control are essentially the same fiber made of sapphire glass, coaxially to which the sensitive fiber is located. The developed measuring device will provide: compensation of the influence of uncontrolled operational and climatological factors on the measuring and additional channel; lack of additional mechanical fiber tensioners; protection of sensitive elements of the device; constancy of the geometry of the optical channel under the influence of uncontrolled operational factors; identity of the location of the main and additional channels with respect to the flow of the controlled liquid; increased sensitivity and accuracy of the device.

DOI: 10.31653/1819-3293-2020-1-26-85-93

Точные и надежные измерители объемных и массовых расходов (расходомеры) широко используются в информационно-измерительных системах судов для транспортировки углеводородов. Основными требованиями, предъявляемыми к расходомерам, являются высокая точность, надежность, долговечность, стойкость к агрессивным средам, экономичность, способность выдавать сигнал в цифровой форме.

К настоящему времени создан широкий спектр типов расходомеров, но многие из них способны измерять только объемный расход, предъявляют специфические требования к параметрам жидкости, обладают небольшим динамическим диапазоном измерения. Большинство расходомеров, позволяющие измерять массовый расход, характеризуются очень сложной механической конструкцией, создают большое гидродинамическое сопротивление потоку. Волоконно-оптические расходомеры, несомненно, обладают неоспоримыми достоинствами и преимуществами: отсутствием электрических токов и напряжений в чувствительной зоне прибора, невосприимчивостью к внешним электромагнитным воздействиям, абсолютной экологической и пожаровзрывобезопасностью.

В то же время удачных схмотехнических решений в области волоконно-оптических расходомеров для контроля легковоспламеняющихся жидкостей до последнего времени не было известно. Таким образом, разработка и исследование нового вихревого волоконно-оптического расходомера являются актуальной научно-технической задачей [1, 2].

Известный волоконно-оптический расходомер, который содержит источник оптического излучения, световод, работающего в многомодовом режиме, фотоприемник, натяжитель световода с опорой и блок обработки информации (рис. 1) [3].

Недостатки устройства, которые обусловлены применением натяжителя многомодового световода:

- малая точность измерения массового расхода;
- наличие одного измерительного канала;
- необходимость постоянного поддержания геометрии измерительного оптического канала в условиях влияния климатических и эксплуатационных факторов;
- натяжитель создает в потоке жидкости дополнительное сопротивление и генерирует в световоде паразитный оптический сигнал;
- отсутствие термокомпенсации влияния контролируемой и окружающей сред;
- сложность замены и очистки световода.

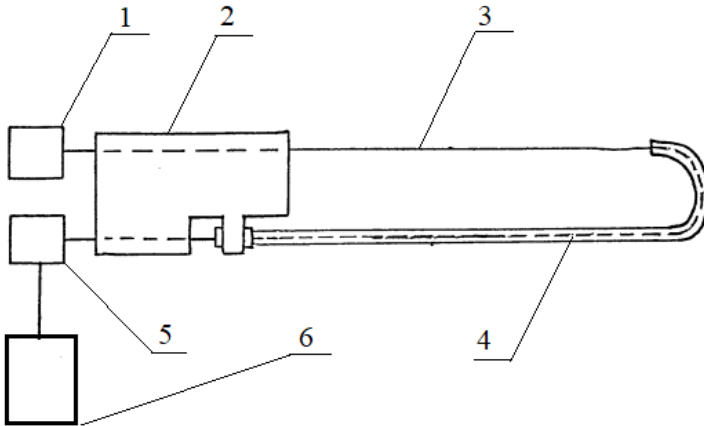


Рис. 1. Вихревой волоконно-оптический расходомер с натяжителем: 1 – источник излучения; 2 – натяжитель; 3 – световод; 4 – опора; 5 – фотоприемник; 6 – блок обработки информации

Более совершенным является вихревой волоконно-оптический расходомер, состоящий из основы, основных и дополнительных источников и приемников излучения, контрольного и основного световода с аэродинамическим профилем, и оптических делителей (рис. 2) [4].

В тоже время возможности устройства серьезно ограничивают особенности, обусловленные расположением измерительного световода с предварительной натяжкой перпендикулярно потоку жидкости, а именно:

необходимость дополнительных мер по защите измерительных световодов от влияния колебательных процессов, генерируемых судовым оборудованием, с частотами близкими к рабочим частотам расходомера;

необходимость тщательного позиционирования основного и контрольного световодов относительно осевой линии потока контролируемой среды для обеспечения идентичности условий для обоих измерительных каналов;

невозможность учета влияния климатических и эксплуатационных факторов на результаты измерения;

отсутствие термокомпенсации влияния контролируемой и окружающей сред;

необходимость наличия дополнительного источника излучения и фотоприемника;

сложность замены и очистки световода.

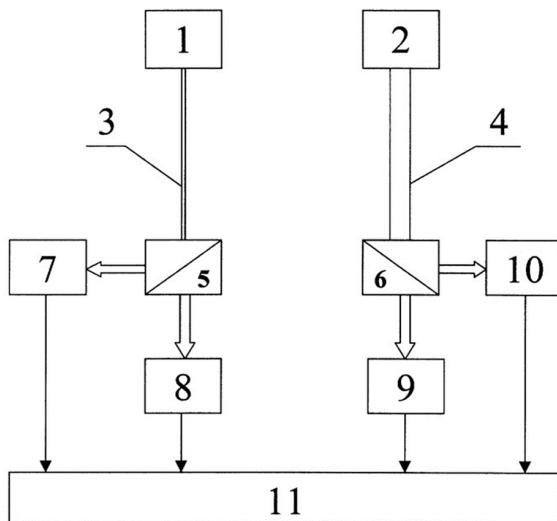


Рис. 2. Вихревой волоконно-оптический расходомер: 1, 2 – одномодовые источники оптического излучения; 3 – основной световод; 4 – контрольный световод; 5, 6 – оптические делители; 7 - 10 – фотоприемники; 11 – блок обработки информации

Анализ конструкций известных расходомеров позволил конкретизировать требования к новому схемотехническому решению измерительного устройства. Для устранения недостатков, присущих [3, 4] в разрабатываемом расходомере:

измерительный и контрольный оптические каналы расположены в идентичных условиях относительно потока контролируемой жидкости;

отсутствуют механические натяжители световодов;

присутствует возможность компенсации колебаний температуры внешней среды;

сохранены надежность, чувствительность и простота схемотехнических решений расходомеров известных типов.

В соответствии с вышеизложенными требованиями разработан модернизированный волоконно-оптический расходомер. Устройство измерителя расхода приведено на рис. 3.

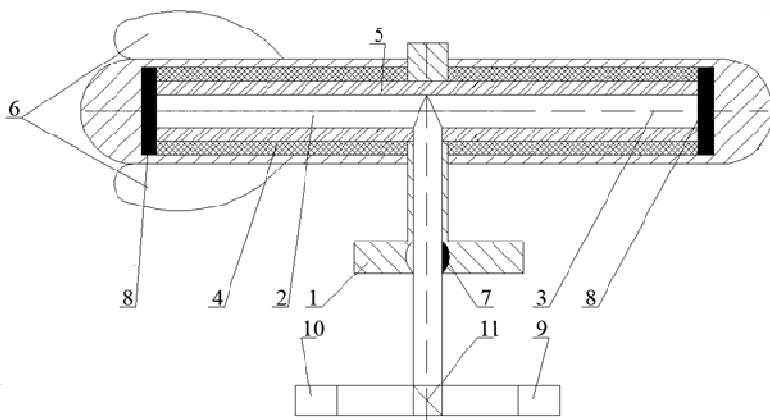


Рис. 3. Волоконно-оптический расходомер для контроля расхода легковоспламеняющихся жидкостей: 1 – основа; 2 – основной световод; 3 – контрольный световод; 4 – оболочка; 5 – чувствительный световод; 6 – профилированные лопасти; 7 – термокомпенсационная биметаллическая пластина; 8 – отражающий слой сапфирового стекла; 9 – источник излучения; 10 – фотоприемник; 11 – мультиплексор/демультиплексор

Для реализации схмотехнического решения применена комбинация оптико-механичных элементов.

В статическом режиме (калибрование при отсутствии потока жидкости) в блоке регистрации фиксируются соответствующие данные и поправки, которые учитывают температуру окружающей среды и потери во всех элементах измерительной системы.

В динамическом режиме (измерение), излучение от источника, через мультиплексор, где происходит распределение по двум длинами волн, поступает в основной и контрольный световоды. После воздействием потока жидкости на профилированные лопасти в основе, и в связанном с нею чувствительном световоде, происходит динамическая деформация сдвига. Эта деформация вызывает аналогичный процесс в коаксиальном чувствительном световоде. В результате кручения световода происходит изменение показателя преломления световода. Происходящие изменения вызывают нарушение условий полного отражения света в световоде и инициируют туннелирование части излучения из основного световода в чувствительный. Таким образом, часть света излучается за пределы основного световода. В дополнительном световоде происходят лишь потери излучения, инициированные влиянием внешних дестабилизирующих факторов [5, 6].

Часть излучения, которое сохраняется в основном и чувствительном световодах отражается от слоя сапфирового стекла и возвращается через демультимплексор к фотоприемнику [7].

После поступления в фотоприемник сигналов от основного и дополнительного световодов они компарируются в блоке обработки. Для компенсации влияния температуры окружающей среды на элементы устройства применяется термокомпенсационная биметаллическая пластина, которая пропорционально температуре, меняет изгиб световода и уменьшает заранее внесенные потери излучения в световоде.

Таким образом, результирующий сигнал будет пропорциональным величине расхода жидкости в трубопроводе с компенсированным влиянием неконтролируемых эксплуатационных факторов.

Предлагаемая конструкция расходомера отличается тем, что основной и контрольный являются по сути одним световодом, изготовленным из сапфирового стекла, коаксиально к которому расположен чувствительный световод. А также в схему измерителя введена термокомпенсационная биметаллическая пластина.

Таким образом, разработанное измерительное устройство обеспечит:

- компенсацию влияния неконтролируемых эксплуатационных и климатологических факторов на измерительный и дополнительный канал;

- отсутствие дополнительных механических натяжителей световодов;

- защищенность чувствительных элементов устройства;

- постоянность геометрии оптического канала в условиях влияния неконтролируемых эксплуатационных факторов;

- идентичность расположения основного и дополнительного каналов относительно потока контролируемой жидкости;

- повышенную чувствительность и точность прибора.

Использование предлагаемого расходомера, в системах контроля грузовых операций с легковоспламеняющимися жидкостями позволит адекватно, достоверно и безопасно оценивать количественные показатели перемещаемого груза.

ЛИТЕРАТУРА REFERENCES

1. Садовников, В. В. Вихревой измеритель расхода жидкости на основе двухканального коаксиального волоконного световода: дис. ...

канд. техн. наук: 05.13.05. – М.: ГТУ, 2002. – 218 с.

2. Кремлевский, П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник. Книга 1. – 5-е изд. перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2002. – 409 с.

3. UK Patent Application GB 2238380 A. Vortex shedding flowmeter. 29.05.1991.

4. Пат. 2181878 Российская Федерация, МПК G01F1/32. Вихревой волоконно-оптический расходомер / В. И. Бусурин, В. В. Садовников; заявитель и патентообладатель Московский государственный авиационный институт (технический университет). – заявл. 25.12.00; опубл. 24.04.02, Бюл. № 2. – 3 с.

5. Бусурин, В. И., Носов, Ю. Р. Волоконно-оптические датчики: физические основы, вопросы расчета и применения. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.

6. Сандлер, А. К., Карпилов, А. Ю. Применение волоконно-оптических датчиков в системах автоматического диагностирования судовых газотурбинных установок. // Автоматизация технологичних і бізнес-процесів. – 2019. – Т. 11. – № 2. – Одесса: ОНАХТ. – С. 46 – 52.

7. Сандлер, А. К. Чувствительный элемент волоконно-оптического акселерометра на основе сапфирового стекла. // IX міжнародна науково-методична конференція "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика", 05 - 06 листопада 2019 р.: матеріали конференції. – Одеса: НУ "ОМА", – 2019. – С. 27 – 33.

Аннотация – Основными требованиями, предъявляемыми к расходомерам, являются высокая точность, надежность, долговечность, стойкость к агрессивным средам, экономичность, способность выдавать сигнал в цифровой форме. Большинство расходомеров, позволяющие измерять массовый расход, характеризуются очень сложной механической конструкцией, создают большое гидродинамическое сопротивление потоку. Волоконно-оптические расходомеры, несомненно, обладают неоспоримыми достоинствами и преимуществами: отсутствием электрических токов и напряжений в чувствительной зоне прибора, невосприимчивостью к внешним электромагнитным воздействиям, абсолютной экологической и пожаровзрывобезопасностью. В то же время удачных схемотехнических решений в области волоконно-оптических расходомеров для контроля легковоспламеняющихся жидкостей до последнего времени не было известно. Таким образом, разработка и исследование нового вихревого волоконно-оптического расходомера являются актуальной научно-технической задачей. Анализ конструкций известных расходомеров позволил конкретизировать

требования к новому схемотехническому решению измерительного устройства. Предлагаемая конструкция расходомера отличается тем, что основной и контрольный являются по сути одним световодом, изготовленным из сапфирового стекла, коаксиально к которому расположен чувствительный световод. А также в схему измерителя введена термокомпенсационная биметаллическая пластина.

Разработанное измерительное устройство обеспечит: компенсацию влияния неконтролируемых эксплуатационных и климатологических факторов на измерительный и дополнительный канал; отсутствие дополнительных механических натяжителей световодов; защищенность чувствительных элементов устройства; постоянность геометрии оптического канала в условиях влияния неконтролируемых эксплуатационных факторов; идентичность расположения основного и дополнительного каналов относительно потока контролируемой жидкости; повышенную чувствительность и точность прибора.

Использование предлагаемого расходомера, в системах контроля грузовых операций с легковоспламеняющимися жидкостями позволит адекватно, достоверно и безопасно оценивать количественные показатели перемещаемого груза.

Анотація – Основними вимогами, що пред'являються до витратомірів, є висока точність, надійність, довговічність, стійкість до агресивних середовищ, економічність, здатність видавати сигнал в цифровій формі. Більшість витратомірів, що дозволяють вимірювати масову витрату, характеризуються дуже складною механічною конструкцією, що створюють великий гідродинамічний опір потоку. Волоконно-оптичні витратоміри, безсумнівно, мають незаперечні властивості і переваги: відсутність електричних струмів і напруг в чутливій зоні приладу, неприйнятністю до зовнішніх електромагнітних впливів, абсолютну екологічну та пожежевибухонебезпечність. У той же час досконалих схемотехнічних рішень в області волоконно-оптичних витратомірів для контролю рідин, що легко займаються, до останнього часу не було відомо. Таким чином, розробка і дослідження нового вихрового волоконно-оптичного витратоміра є актуальною науково-технічною задачею. Аналіз конструкцій відомих витратомірів дозволив конкретизувати вимоги до нового схемотехнічного рішення вимірювального пристрою. Пропонована конструкція витратоміра відрізняється тим, що основний і контрольний світловоди є по суті одним світловодом, виготовленим з сапфирового скла, коаксіально до якого розташований чутливий світловод. А також в схему вимірювача введена термокомпенсаційних біметалева пласт-

тина. Розроблений вимірювальний пристрій забезпечить: компенсацію впливу неконтрольованих експлуатаційних і кліматологічних факторів на вимірювальний і додатковий канал; відсутність додаткових механічних натягачів світловодів; захищеність чутливих елементів пристрою; постійність геометрії оптичного каналу в умовах впливу неконтрольованих експлуатаційних факторів; ідентичність розташування основного і додаткового каналів відносно потоку контрольованої рідини; підвищену чутливість і точність приладу. Використання пропонованого витратоміра, в системах контролю вантажних операцій з легкозаймистими рідинами дозволить адекватно, достовірно і безпечно оцінювати кількісні показники переміщуваного вантажу.

Annotation – The main requirements for flow meters are high accuracy, reliability, durability, resistance to aggressive media, cost-effectiveness, and the ability to output a signal in digital form. Most flowmeters that allow measuring mass flow are characterized by a very complex mechanical design and create a large hydrodynamic resistance to the flow. Fiber-optic flow meters undoubtedly have indisputable advantages and benefits: the absence of electric currents and voltages in the sensitive area of the device, immunity to external electromagnetic influences, absolute environmental and fire and explosion safety. At the same time, until recently, no successful circuitry solutions in the field of fiber-optic flowmeters for monitoring flammable liquids were known. Thus, the development and research of a new vortex fiber-optic flowmeter is an urgent scientific and technical problem. Analysis of the designs of known flow meters made it possible to specify the requirements for a new circuit design of the measuring device. The proposed design of the flow meter differs in that the main and control are essentially the same fiber made of sapphire glass, coaxially to which the sensitive fiber is located. And also a thermocompensating bimetallic plate is introduced into the meter circuit. The developed measuring device will provide: compensation of the influence of uncontrolled operational and climatological factors on the measuring and additional channel; lack of additional mechanical fiber tensioners; protection of sensitive elements of the device; constancy of the geometry of the optical channel under the influence of uncontrolled operational factors; identity of the location of the main and additional channels with respect to the flow of the controlled liquid; increased sensitivity and accuracy of the device.

The use of the proposed flow meter in the control systems of cargo operations with flammable liquids will make it possible to adequately, reliably and safely assess the quantitative indicators of the transported cargo.