

МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ

И. Т. Назарова, Д. И. Серебряков,
Т. Ю. Бростилова, Т. И. Мурашкина

Введение

В настоящее время современные и перспективные разработки авиационной, ракетно-космической и других отраслей техники нуждаются в определенной номенклатуре датчиков для информационно-измерительных, к которым предъявляют повышенные требования, в первую очередь, работоспособность в жестких условиях эксплуатации и обеспечение безопасности. Особенно это актуально при измерении уровня взрывоопасных жидкостей.

В настоящее время существующие датчики и системы измерения уровня жидкости, основанные на таких физических принципах, как емкостный, индуктивный и др., требуют в конструкции изделия дополнительных систем и контуров защиты от случайного проскакивания искры, так как для преобразования измерительной информации используют электрические сигналы. Это в свою очередь приводит к увеличению массы авиационной, ракетной и другой техники. Стоит задача в создании системы измерения уровня жидкости, отвечающей вышеупомянутым требованиям и исключающей недостатки существующих средств измерения уровня жидкости.

Описание конструкции

В работе [1] описан волоконно-оптический сигнализатор уровня жидкости, который частично решает поставленную задачу. Недостатками данного сигнализатора является отсутствие возможности контролировать несколько значений уровня жидкости.

Для полного решения поставленной задачи была предложена конструкция волоконно-оптической системы измерения уровня жидкости (ВОСИУЖ) [2].

Недостатками данной системы является следующее:

- при регистрации уровня жидкости, движущейся перпендикулярно к оптической оси уровнемера (например, морская волна), точность регистрации будет невысокой;
- технологически сложно изготовить наконечник в виде конуса;
- при сборке технологически трудно протянуть через длинную трубу оптические волокна, собранные в жгуты, кроме того, при этом можно в местах стыка трубы и корпусов сломать отдельные волокна, а определить место поломки возможно только после подстыковки оптических волокон к приемникам излучения;
- полировать волокна целесообразно после вклеивания во втулки, в противном случае в процессе сборки полированная поверхность может быть поцарапана;
- если измеряется уровень агрессивной среды (например, кислотный электролит), то возможно нарушение герметичности узла «стержень-наконечник» из-за растворения клеящего состава.

Поэтому предложен модернизированный вариант ВОСИУЖ, в котором данные недостатки устранены (рис. 1).

ВОСИУЖ содержит источники излучения 1, например полупроводниковые светодиоды (лазеры), подводящие 2 и отводящие 3 оптические волокна, оптические стержни 4, Г-образные корпуса 5, состоящие из трех частей 6, 7, 8, трубу 9, заглушку 10, приемники излучения 11, например фотодиоды.

С источниками излучения 1 состыкованы подводящие оптические волокна 2, количество которых равно количеству точек съема информации об уровне жидкости.

Волоконно-оптический уровнемер содержит источники излучения 1, например полупроводниковые светодиоды, подводящие (ПОВ) 2 и отводящие (ООВ) 3 оптические волокна, оптиче-

ские стержни 4, корпуса 5, состоящие из трех частей: полых трубок 6, втулок 7 со сквозным внутренним отверстием, наконечников 8 с цилиндрическим сквозным отверстием, трубу 9, заглушку 10, приемники излучения 11, например фотодиоды.

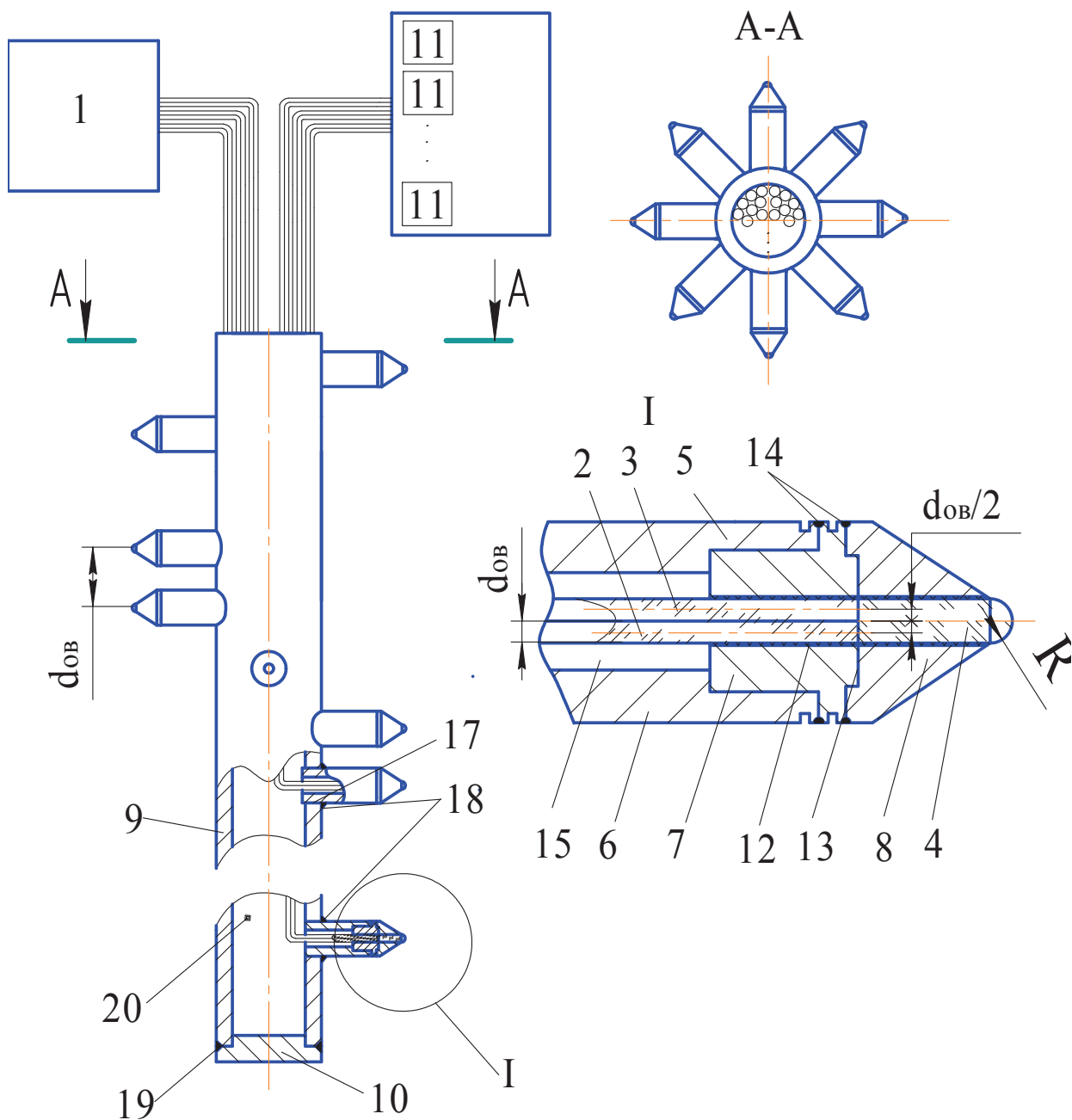


Рис. 1. Конструктивное исполнение модернизированной волоконно-оптической системы измерения уровня жидкости

Наконечник 8 выполнен в виде цилиндра и усеченного конуса, причем цилиндр является основанием для усеченного конуса, малое основание которого обращено в сторону шаровидного сегмента стержня 4.

С источниками излучения 1 состыкованы ПОВ 2, количество которых равно количеству точек съема информации об уровне жидкости.

Стержни 4 имеют круглое сечение и выполнены с шаровидными сегментами на рабочем торце, обращенными в сторону жидкости, радиусом R , определяемым выражением

$$d_{\text{OB}} \leq R \leq 1,5d_{\text{OB}}, \quad (1)$$

где $d_{\text{ов}}$ – диаметр оболочки оптического волокна из оптически прозрачного материала, например, из кварцевого стекла, для которого выполняется условие:

$$n_{\text{ср}} < n_{\text{ж}} < n_1, \quad (2)$$

где $n_{\text{ср}}$, $n_{\text{ж}}$, n_1 – показатели преломления окружающей среды, жидкости и стержня соответственно.

Цилиндрическая часть стержней 4 закрепляется в наконечнике 8 корпуса 5 спеканием при высокой температуре, при этом шаровой сегмент выступает за пределы части 8 корпуса 5 на значение, равное R .

Подводящее оптическое волокно 2 и отводящее оптическое волокно 3 закреплены во втулке 7 корпуса 5 с помощью клея 12, обладающего большой упругостью. Втулки 7 устанавливаются в паз 13 наконечников 8. Части 6, 7, 8 корпуса 5 соединены между собой с помощью сварки 14, при этом центры торцов подводящего оптического волокна 2 и отводящего оптического волокна 3 смещены относительно центра торца стержня 4 на значение, равное $(d_{\text{ов}}/2 \dots 1,5d_{\text{ов}}/2)$. Внутренняя полость 15 корпуса 5 заполняется герметиком 16 (на фиг. 1 не показан) в целях исключения поломок оптических волокон при воздействии вибрации, ударов и т.п.

Количество корпусов 5 соответствует количеству точек съема информации об уровне жидкости.

Труба 9 изготавливается длиной не менее максимального значения измеряемого уровня жидкости. Поперечное сечение трубы 9 может быть круглым или прямоугольным. На рис. 1 для примера приведена круглая труба. В трубе 9 просверлены сквозные отверстия 17 так, что их оси перпендикулярны продольной оси трубы. Например, как показано на рис. 1, отверстия 17 выполнены равномерно по спирали с равномерным шагом, соответствующим расстоянию между точками съема информации. Количество отверстий 17 соответствует количеству точек съема информации об уровне жидкости.

Корпуса 5 крепятся к трубе 9 с помощью сварки 18 так, чтобы отверстия в верхней части корпуса 5 были совмещены с отверстиями в трубе 9.

Герметизация трубы осуществляется с помощью заглушки 10, которая крепится к трубе 9 с помощью сварки 19. Внутренняя полость 20 трубы 9 заполняется герметиком 21 (на рис. 1 не показан) в целях исключения поломок оптических волокон при воздействии вибрации, ударов и т.п.

Отводящие оптические волокна 3, количество которых равно количеству точек съема информации об уровне жидкости, соединены с приемниками излучения 11.

Оптические волокна 2 и 3 проходят внутри трубы 9 и через отверстия 17 в трубе 9 протянуты к приемному торцу стержня 4.

Способ изготовления ВОСИУЖ заключается в следующем (рис. 2):

1) нарезают оптические волокна в количестве $2n$, где n – количество контролируемых точек уровня жидкости, причем длина L_i двух отдельных i -х волокон определяется соотношениями (3), когда точки контроля уровня жидкости равноудалены, соотношениями (4), когда точки контроля уровня жидкости распределены по длине емкости неравномерно;

2) равные по длине одно ПОВ 2 и одно ООВ 3 пропускают (начиная с самых длинных и далее последовательно по мере уменьшения их длины) через полые трубки 6 корпусов 5;

3) вклеивают оптические волокна 2 и 3 с помощью клеящего состава 12 во втулки 7 таким образом, чтобы рабочие торцы оптических волокон 2 и 3 были расположены в плоскости поверхности втулок 7, обращенных к наконечнику 8. Наличие клеящего состава 12 на рабочих торцах волокон 2, 3 не допускается;

4) торцы оптических волокон 2 и 3, закрепленных во втулке 7, полируют;

5) спеканием при высокой температуре жестко закрепляют стержни 4 в наконечниках 8 таким образом, чтобы сферические сегменты располагались с узкой стороны конусов наконечников 8, а плоскости других торцов стержней 4 совпадали с основаниями цилиндров наконечников 8;

6) втулки 7 устанавливают в паз 13 наконечников 8;

7) наконечниками 8 прижимают втулки 7 с оптическими волокнами 2 и 3 к одному торцу полых трубок 6 корпусов 5;

8) части 6, 7, 8 корпуса 5 в местах их соединений сваривают между собой сваркой 14;

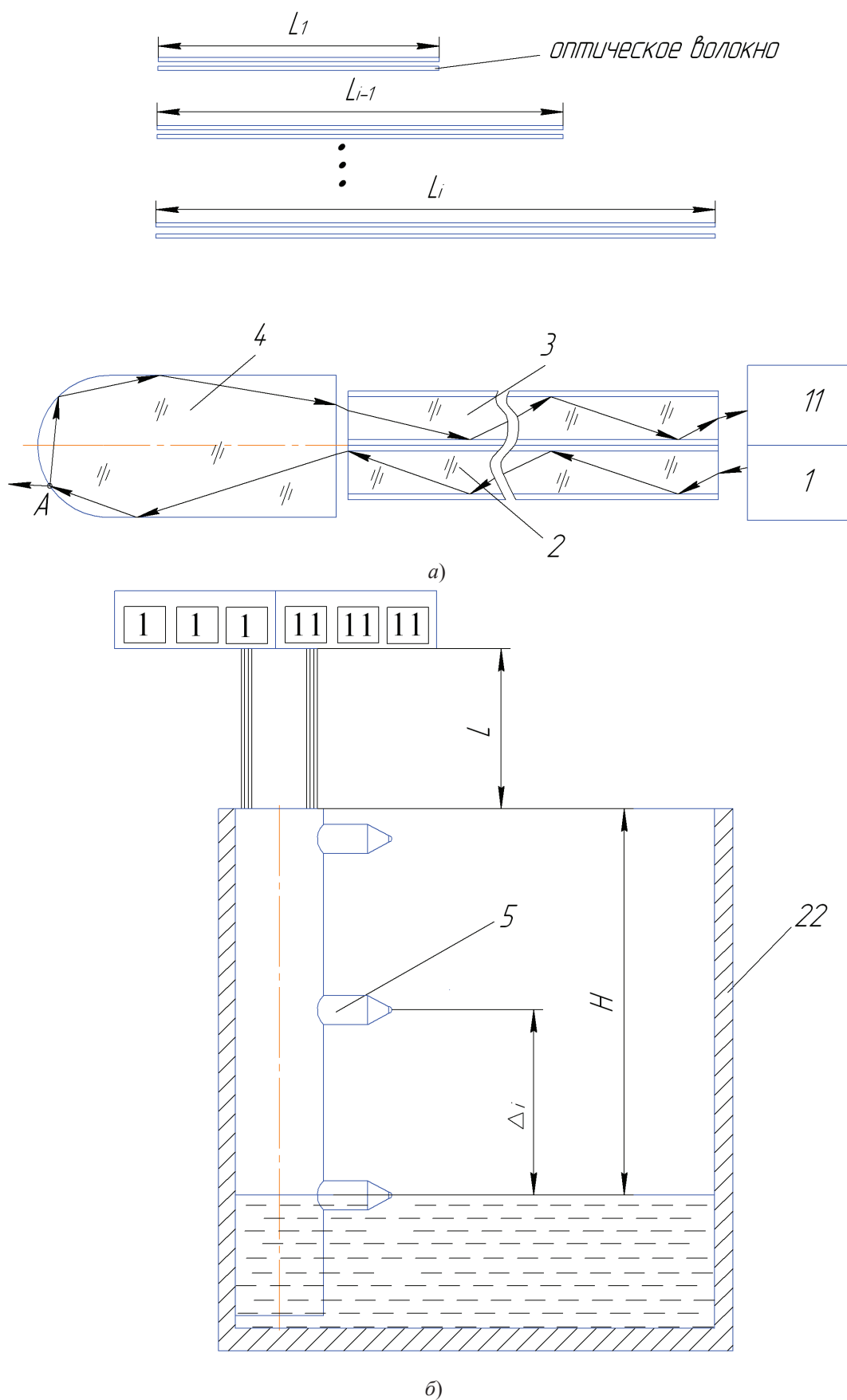


Рис. 2. Способ изготовления ВОСИУЖ:
 а – к определению длин оптических волокон;
 б – схема распространения света в оптическом канале ВОСИУ

9) внутренняя полость 15 собранных корпусов 5 заполняется герметиком 16 (на рис. 1 не показан);

10) с помощью приспособления в виде крючка через отверстия 17 в трубе 9, начиная с самого нижнего и перемещаясь вверх по трубе 9, протягивают свободные концы одного подводящего оптического волокна 2 и одного отводящего оптического волокна 3 последовательно, начиная с самых длинных, в сторону источников излучения 1 и приемников излучения 11;

11) корпуса 5 соединяют с трубой 9 в местах отверстий 17 с помощью сварки 18;

12) заглушкой 10 закрывают с нижнего конца трубу 9 и закрепляют с помощью сварки 19;

13) герметиком 21 (на рис. 1 не показан) заполняют внутреннюю полость 20 трубы 9;

14) свободные торцы подводящих оптических волокон 2 подводят к источникам излучения 1, а отводящих оптических волокон 3 – к приемникам излучения 11.

Один измерительный канал волоконно-оптического уровнемера работает следующим образом.

Излучение источника излучения 1 направляется по ПОВ 2 к стержню 4. Поток излучения, излучаемый торцом ПОВ 2, падает на входной торец стержня 4, преломляется и распространяется по нему путем переотражения от цилиндрической поверхности до шарового сегмента [3].

При отсутствии контакта шарового сегмента стержня 4 с жидкостью лучи света за счет выполнения условия полного внутреннего отражения отражаются от поверхности стержня 4 и возвращаются обратно к входному торцу стержня 4, преломляются и выходят из стержня 4, падая на приемный торец ООВ 3. По ООВ 3 поток излучения распространяется до приемника излучения 11, где происходит его преобразование в электрический сигнал.

При контакте шарового сегмента стержня 4 с жидкостью происходит нарушение условия полного внутреннего отражения, и большая часть излучения выходит из стержня (точка А на рис. 2), оставшаяся меньшая часть по ООВ 3 распространяется до приемника излучения 11.

Таким образом, наличию жидкости в зоне измерения соответствует высокий уровень напряжения приемника излучения 11, отсутствию жидкости – низкий уровень напряжения.

Аналогичным образом работают другие измерительные каналы волоконно-оптического уровнемера.

Повышение или понижение уровня жидкости в емкости 22 ведет к последовательному срабатыванию измерительных каналов. Сигналы с приемников излучения 11 в дальнейшем могут передаваться в систему обработки информации, которая может выдавать сигнал в виде последовательного дискретного повышения или понижения напряжения соответственно при повышении и понижении уровня жидкости, или обрабатывать индивидуально сигналы с каждого измерительного канала.

В предлагаемой конструкции волоконно-оптического уровнемера реализовано дискретное измерение уровня жидкости, что позволяет контролировать несколько значений уровня жидкости.

Предлагаемая новая конструкция волоконно-оптического уровнемера позволяет производить контроль уровня жидкости в требуемых точках емкостей, работоспособна в жестких условиях РКТ, обладает абсолютной искро-, взрыво-, пожаробезопасностью и не требует сложных технологических и измерительных операций при изготовлении.

Общее количество оптических волокон ВОСИУ равно $2n$, где n – количество контролируемых точек уровня жидкости, причем длина L_i двух отдельных i -х волокон определяется соотношениями (см. рис. 2):

а) когда точки контроля уровня жидкости равноудалены:

$$L_i \geq L + [H - (i-1)\Delta_i],$$

б) когда точки контроля уровня жидкости распределены по длине емкости неравномерно:

$$L_i \geq L + (H - \sum_{i=1}^n \Delta_i),$$

где L – длина участка от источника 1 или приемника излучения 11 до емкости 19 (см. рис. 3); H – высота емкости 19 (или расстояние от верхней границы емкости до последней точки съема информации); Δ_i – расстояние между ближайшими точками контроля (см. рисунок 2); $i = 1, 2, \dots, n$ – порядковый номер точки.

Заключение

Таким образом, предлагаемая конструкция ВОСИУ реализует дискретное измерение уровня жидкости, что позволяет контролировать несколько значений уровня жидкости в требуемых точ-

ках емкости, работоспособна в жестких условиях, обладает абсолютной искро-, взрыво-, пожаро-безопасностью, так как в качестве передающей среды используется световой поток и не требует сложных технологических и измерительных операций при изготовлении.

Список литературы

1. Патент РФ № 2297602, МПК G 01 F 23/22. Волоконно-оптический сигнализатор уровня жидкости / Д. И. Серебряков, Т. И. Мурашкина. – Зарег. в госреестре 20.04.2007.
2. Патент РФ № 2399887. Волоконно-оптический уровнемер и способ его изготовления / Д. И. Серебряков, Т. И. Мурашкина, А. Г. Пивкин, А. В. Архипов, А. В. Мытарев. – Зарег. в госреестре 20.09.2010.
3. Патент РФ № 2297602. Волоконно-оптический сигнализатор уровня жидкости / Д. И. Серебряков, Т. И. Мурашкина. – Оpubл. 20.04.2007, Бюл. № 11.

УДК 681.586.5

Модернизированная волоконно-оптическая система измерения уровня жидкости / И. Т. Назарова, Д. И. Серебряков, Т. Ю. Бростилова, Т. И. Мурашкина // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 54–59.

Назарова Инна Таджиддиновна

аспирант,
кафедра приборостроения,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
(8412) 36-84-59
E-mail: uncate@yandex.ru

Серебряков Дмитрий Игоревич

начальник лаборатории,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8/10)
89063972491

Бростилова Татьяна Юрьевна

кандидат технических наук, доцент,
кафедра автоматизированных
электроэнергетических систем,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
(8412) 36-84-59
E-mail: tat-krupkina@yandex.ru

Мурашкина Татьяна Ивановна

доктор технических наук, профессор,
кафедра приборостроения,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
(8412) 36-84-59
E-mail: timurashkina.pgu@mail.ru

Аннотация. Проведен анализ существующих датчиков и систем измерения уровня жидкости. Выявлены их недостатки и предлагается модернизированная конструкция волоконно-оптической системы измерения уровня жидкости.

Ключевые слова: волоконно-оптический сигнализатор уровня жидкости, оптические волокна, измерительный канал, источник излучения.

Nazarova Inna Tadzhhidinovna

postgraduate student,
sub-department of instrumentation,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Serebryakov Dmitriy Igorevich

head of laboratory,
Research Institute physical measurements
(440026, 8/10 Volodarskogo street, Penza, Russia)

Brostilova Tat'yana Yur'evna

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of automated electric power systems,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Murashkina Tat'yana Ivanovna

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of instrumentation,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Abstract. The analysis of existing sensors and liquid level measurement. Revealed their shortcomings and offers streamlined design of fiber-optic liquid level measurement system.

Key words: system analysis, techniques of systems analysis, systems approach, a complex technical system, structure, system, method of peer review.