

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ УРОВНЕМЕР С ВИЗУАЛЬНЫМ ОТСЧЕТОМ ДЛЯ ЖИДКОСТЕЙ

А. А. Адамова¹, Е. А. Медведева², С. Г. Семенцов³

^{1,2,3} Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия

¹ aadamova@bmstu.ru, ² mea21u670@student.bmstu.ru, ³ siemens_off@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Представлено исследование и разработка датчика уровня для инновационной бутылки, предназначенной для систематического отслеживания уровня гидратации организма человека. Анализ спроса на существующие решения на рынке «умных» бутылок показывает, что рассматриваемые устройства не обладают функцией идентификации содержания, вследствие чего может снизиться точность измерений и прогнозов относительно показателей здоровья пользователя. *Материалы и методы.* В рамках исследовательской работы предлагается вариант устранения данного недостатка через внедрение в конструкцию бутылки интеллектуального уровнемера с визуальным отсчетом, обеспечивающего высокую точность измерений независимо от физических свойств жидкости. Статья охватывает классификацию и анализ датчиков уровня в рамках решения задачи проектирования «умной» бутылки, определение ключевых функций разрабатываемого устройства, описание конструкции и принципа работы синтезированного варианта уровнемера. *Результаты и выводы.* Предлагаемый подход в реализации интеллектуальной бутылки создает перспективы для организации эффективной системы мониторинга гидратации, открывающих новые возможности в области заботы о здоровье и улучшения качества повседневной жизни.

Ключевые слова: гидратация, «умная» бутылка, датчик уровня жидкости, уровнемер, мониторинг здоровья, обработка изображений

Для цитирования: Адамова А. А., Медведева Е. А., Семенцов С. Г. Интеллектуальный уровнемер с визуальным отсчетом для жидкостей // Надежность и качество сложных систем. 2024. № 2. С. 103–112. doi: 10.21685/2307-4205-2024-2-12

INTELLIGENT LEVEL GAUGE WITH VISUAL REFERENCE FOR LIQUIDS

A.A. Adamova¹, E.A. Medvedeva², S.G. Sementsov³

^{1,2,3} Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

¹ aadamova@bmstu.ru, ² mea21u670@student.bmstu.ru, ³ siemens_off@mail.ru

Abstract. *Background.* The article is devoted to the research and development of a level sensor for an innovative bottle designed to systematically monitor the hydration level of the human body. An analysis of the demand for existing solutions in the smart bottle market shows that the devices in question do not have the function of identifying the contents, as a result of which the accuracy of measurements and forecasts regarding the user's health indicators may decrease. *Materials and methods.* As part of the research work, an option is proposed to eliminate this disadvantage through the introduction of an intelligent level gauge with a visual readout into the bottle design, which ensures high measurement accuracy regardless of the physical properties of the liquid. The article covers the classification and analysis of level sensors in the framework of solving the problem of designing a "smart" bottle, determining the key functions of the device being developed, describing the design and principle of operation of the synthesized version of the level gauge. *Results and conclusions.* The proposed approach to the implementation of an intelligent bottle creates prospects for the organization of an effective hydration monitoring system, opening up new opportunities in the field of health care and improving the quality of daily life.

Keywords: hydration, «smart» bottle, liquid level sensor, level gauge, health monitoring, image processing

For citation: Adamova A.A., Medvedeva E.A., Sementsov S.G. Intelligent level gauge with visual reference for liquids. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems.* 2024;(2):103–112. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-4205-2024-2-12

Исследовательская работа посвящена изучению принципов работы «умных» устройств для мониторинга гидратации организма человека и проектированию интеллектуального уровнемера с визуальным отчетом для повышения качества измерений уровня жидкостей различного рода.

Сегодня люди, следуя тренду заботы о здоровье и формирования полезных привычек, проявляют повышенный интерес к поддержанию гидратации своего организма, так как увеличение потребления чистой воды может положительно сказаться на их общем физическом и эмоциональном состоянии. Популярными остаются следующие способы отслеживания гидратации:

- сбор данных о режиме питья и их анализ непосредственно человеком без применения специализированных программ;
- использование приложений для мобильных устройств, не способных самостоятельно отслеживать питьевой режим пользователя, но имеющих функции обработки внесенных данных;
- применение устройств, обладающих возможностью осуществлять автоматический сбор данных и их своевременную обработку.

«Умные» устройства, относящиеся к последней категории, предполагают воплощение не только в виде программного обеспечения, но и в виде автономной сенсорной системы, способной с заданной точностью производить измерения необходимых параметров жидкости.

Главной предпосылкой исследования послужила беднота функционала существующих на рынке интеллектуальных бутылок для мониторинга гидратации, а именно отсутствие учета в питьевом режиме пользователя напитков, отличных от воды.

Основными методами данной работы являются анализ рынка, сравнение конструктивных особенностей существующих предложений, моделирование условий работы проектируемого устройства, а также общий диалектический метод научного познания, методы логической дедукции, индукции, теоретический анализ литературных источников, эмпирические методы и методики (анализ документации, сравнение и обобщение).

На основе анализа существующих технологий в области уровнеметрии в результате научной работы была предложена конструкция интеллектуального уровнемера и описан принцип его действия.

Интеллектуальный уровнемер с визуальным отчетом может быть использован для непрерывного измерения с заданной точностью уровня жидкостей с различными физическими параметрами в условиях меняющихся внешних факторов.

Введение

Бурное развитие инфраструктуры Интернета вещей (IoT) открывает для человека возможность более тщательно следить за своим здоровьем. «Умные» устройства, соединенные с другими девайсами посредством сети и способные работать в определенной степени автономно и интерактивно, облегчают для человека получение, сбор и анализ данных об активности, физиологических показателях, качестве сна, уровне стресса и т.п.

Различные аспекты функционирования организма коррелируют с оптимальным уровнем гидратации, который обеспечивается употреблением достаточного объема воды на фоне различных внешних факторов. «Умные» бутылки, спроектированные для отслеживания питьевого режима пользователя, обеспечивают не только удобный способ транспортировки напитков, но и способствуют формированию здоровых привычек.

На рынке доступны интеллектуальные бутылки, однако их функционал ограничивается мониторингом потребления воды и не распространяется на другие жидкости. В силу того, что степень гидратации организма обусловлена потреблением не только чистой воды, но и иных напитков, подобные «умные» устройства ограничены в своей способности проведения всестороннего анализа питьевого режима пользователя и могут предлагать недостоверные прогнозы. Устранению данного недостатка путем синтеза варианта реализации интеллектуального уровнемера посвящена данная работа.

Объектом исследования в данной работе является конструкция «умной» бутылки для мониторинга и анализа уровня гидратации организма человека.

Предметом исследования является датчик уровня для жидкостей различного рода, оптимальный для интеграции в конструкцию интеллектуальной бутылки.

Цель работы – синтез варианта реализации уровнемера для решения задачи проектирования «умной» бутылки.

Задачи работы:

- проанализировать спрос на существующие модели «умных» бутылок, выявив их основные функциональные возможности и текущее положение на рынке;
- определить функции проектируемого устройства, основываясь на ключевых физических параметрах;
- в контексте разнообразия устройств для измерения уровня жидкости предложить оптимальную конфигурацию уровнемера для реализации «умной» бутылки;
- описать конструкцию и принцип работы предложенного датчика уровня.

Обзор литературы

В сфере разработки интеллектуальных систем для уровнеметрии существует значительное количество литературных источников, которые охватывают различные аспекты темы исследования. В работе Б. Б. Винокурова [5], представленной в виде учебного пособия, рассматриваются основы метрологии и конструирования техники для измерения уровня жидких сред, что предоставляет теоретическую основу для понимания методов измерения уровня жидкостей.

С позиции построения интеллектуальных систем измерения физических величин также рассматривается работа В. В. Кочана [9], освещающая аспекты, связанные с интеграцией сенсоров в интеллектуальные устройства, что актуально в ходе разработки конструкции «умной» бутылки.

Труды по имитационному моделированию [8], инновационным способам измерения уровня жидкостей [6, 9] и соответствующих этой цели сенсорных систем [4, 7] в сочетании с вышеуказанными источниками представляют большую ценность, образуя обширную систему знаний по внедрению датчиков уровня.

В процессе работы были рассмотрены различные способы измерения уровня жидких сред, включая измерения на основе оптических методов. Работа И. И. Кулаковой [10] по оптической спектроскопии является ценным источником в контексте использования альтернативных оптических методов измерения в интеллектуальных бутылках.

Работы Борофски, Коэна и Стрительмайера [12–14], оценивающие точность, практическую значимость и удобство эксплуатации «умных» бутылок, предоставляют информацию о современных тенденциях в разработке сенсорных систем для мониторинга здоровья человека.

Выбранная конструкция уровнемера предполагает внедрение в алгоритмы анализа уровня жидкости моделей машинного обучения, включая обработку изображений с использованием компьютерного зрения. Учебное пособие Т. В. Фисенко [11], статья А. А. Адамовой, В. А. Зайкина, Д. В. Гордева [1, 3] детально рассматривают методы машинного обучения и нейросетевых технологий, что может быть полезным для разработки интеллектуальных киберфизических систем.

Выбранная литература формирует обширное представление о разнообразных подходах и технологиях, используемых в создании интеллектуальных уровнемеров, что поможет определить ключевые направления для развития данной области исследований.

Материалы и методы

Предпосылкой исследования послужила выявленная проблема недостаточности функционала существующих на рынке интеллектуальных бутылок, а именно, отсутствие учета в питьевом режиме пользователя напитков, отличных от воды. Был проведен анализ рынка, сравнение конструктивных особенностей существующих предложений, моделирование условий работы проектируемого устройства и предложен оптимальный способ осуществления измерений уровня в малых емкостях. В ходе написания данной работы были использованы научная и учебно-методическая литература, статьи в периодических изданиях отечественных и зарубежных авторов.

Анализ рынка

В настоящее время количество доступных на рынке интеллектуальных бутылок ограничено, а компании, инициировавшие проектирование данных устройств, являются ведущими производителями рассматриваемой области. Активное развитие инновационных бутылок началось в 2014 г., когда американский стартап «Hidrate» представил первую «умную» бутылку для воды «HidrateMe», предоставляющую функции мониторинга и уведомлений о гидратации [12]. Несколько позже компании «Thermos» и «Hydr8» выпустили устройства «Thermos Smart Lid» и «Hydr8 Smart Bottle» соответственно, обладающие схожими функциональными возможностями с их предшественницей [13, 14].

В 2018 г. «LifeFuels» презентовали интеллектуальную бутылку с интегрированной системой дозирования и смешивания добавок, а уже через год «Hidrate» обновила свой продукт, представив «HidrateSpark 3», который отличается более продвинутыми функциями и интеграцией с платформами здоровья и фитнеса [12]. На данный момент появление новых моделей интеллектуальных бутылок, предоставляющих нестандартные функциональные возможности, наблюдается редко, а наиболее популярными устройствами в этой сфере остаются зарубежные модели «HidrateSpark», «EQUA Smart Water Bottle», «MyHydrate», «Thermos Smart Lid», «LifeFuels Bottle» и «Hydr8 Smart Bottle».

Беднота предложений на рынке интеллектуальных бутылок является результатом недостаточного спроса на данную продукцию, что может быть обусловлено следующими факторами:

- «умные» бутылки обладают высокой стоимостью относительно обычных бутылок для воды;
- отечественные разработки отсутствуют на рынке как конкурентоспособный оформленный товар;
- многие пользователи не считают необходимым отслеживать уровень гидратации с повышенной точностью.

Несмотря на это, применение интеллектуальных бутылок обладает рядом преимуществ перед другими способами отслеживания гидратации:

- более точное отслеживание режима питья по времени и объему жидкости ввиду отсутствия человеческого фактора;
- быстрый доступ к жидкости лучше стимулирует выработку привычки потребления большего количества воды;
- «умные» бутылки более экологичны и не менее подвержены внешним деформациям.

Интеллектуальное устройство и ключевые физические параметры

На основе рассмотренных литературных источников были выявлены стандартные возможности «умных» бутылок:

- отслеживание изменения объема воды в бутылке;
- отправка уведомлений и напоминаний через мобильные приложения или светодиодные индикаторы на корпусе бутылки для регулярного употребления воды пользователем с целью улучшить питьевые привычки;
- отслеживание температуры жидкости;
- сохранение температуры жидкости;
- поддержка геолокации;
- отображение статистики, прогнозов и рекомендаций относительно питьевого режима посредством мобильного приложения.

Существенным изъяном, присущим подавляющему большинству представленных на рынке моделей интеллектуальных бутылок, является отсутствие функции автоматического определения типа содержимого и его температуры. Этот аспект негативно сказывается на качестве анализа данных о гидратации, в особенности ввиду воздействия человеческого фактора.

В рамках данной работы к интеллектуальной бутылке предъявляются следующие требования относительно функционала:

- идентификация напитка в бутылке;
- расчет количества потребляемой жидкости на основе данных о ее первоначальном объеме;
- отслеживание температурного режима жидкости на протяжении всего времени ее присутствия в бутылке;
- обработка и анализ полученных данных и их отображение посредством мобильного приложения.

Идентификация жидкости в бутылке и определение ее уровня обусловлены следующими особенностями в рамках задачи проектирования интеллектуальной бутылки:

- заранее неизвестны плотность, прозрачность, показатель преломления, вязкость, диэлектрическая проницаемость, электрическая проводимость, теплоемкость, теплопроводность жидкости, а также скорость распространения в ней электромагнитных волн;
- пользователь имеет возможность не заполнять бутылку до конца при каждом использовании устройства;
- постоянство температурного режима напитка не гарантируется;
- жидкость в бутылке не может постоянно находиться в статичном пространственном положении.

К регистрируемым параметрам «умной» бутылки относятся: плотность и температура жидкости, высота ее столба и параметры пространственного положения бутылки для корректной работы уровнемера.

Плотность и высота столба жидкости являются взаимозаменяемыми параметрами для измерения и определяют главные функции «умной» бутылки: способность идентифицировать жидкость и отслеживать ее объем.

Плотность напитка является основным параметром в определении рода жидкости в бутылке, однако наряду с альтернативными параметрами, такими как показатель преломления, теплоемкость, электрическая проводимость, диэлектрическая проницаемость и т.д., самостоятельно она не гарантирует точную идентификацию напитка ввиду существования множества напитков со схожими характеристиками.

Основной отслеживаемой величиной для «умной» бутылки резонно выбрать уровень столба жидкости ввиду наличия достаточного количества методов, позволяющих проводить измерения данного параметра, не прибегая к информации о роде жидкости, и уменьшения погрешностей промежуточных измерений.

Устройства, позволяющие отслеживать количество жидкого или сыпучего вещества по уровню его поверхности в некоторой емкости, называют датчиками уровня¹. В рамках данной статьи это понятие употребляется в контексте исключительно жидкостей. Любой датчик уровня состоит из механической части, основанной на принципе измерений датчика, и электрической части, определяющей связь датчика с управляющими устройствами. Сочетание этих частей создает все разнообразие уровнемеров.

Классические методы измерения уровня жидкости предполагают применение: механических уровнемеров (устройств, измеряющих уровень жидкости с использованием дополнительных механических компонентов, таких как поплавки, буйки и др.), гидростатических уровнемеров (уровнемеров, основанных на измерении гидростатического давления жидкости, зависящего от высоты ее уровня), электрических уровнемеров (измерения в них обусловлены распределением электрических и магнитных параметров вдоль чувствительного элемента), акустических уровнемеров (основанных на зависимости интенсивности поглощения или времени распространения акустических колебаний от высоты уровня жидкости), радиоволновых уровнемеров (использующих в качестве своей «механической части» радиоизлучение), оптических и тепловых уровнемеров (преобразующих в выходной сигнал оптические и температурные параметры системы соответственно) [5].

Альтернативным подходом к измерению уровня жидкости неизвестного рода является вариант интеграции методов спектрографии с акустической и радиоволновой уровнеметрией. Спектрография применяется для анализа взаимодействия вещества с электромагнитным излучением и раскрытия информации о его составе и характеристиках, однако непосредственная оценка уровня жидкости в резервуаре этим методом невозможна и его внедрение в системы уровнемеров ограничено габаритами спектрографов и избыточным объемом информации о объекте исследования [10].

Помимо рассмотренных датчиков уровня для решения задачи разработки «умной» бутылки имеют место быть уровнемеры с визуальным отсчетом, основанные на визуальном определении высоты. Уровень жидкости в этом случае измеряют в стеклянной трубке, сообщающейся с контролируемым сосудом в нижней, а иногда и в верхней части, или же с помощью прозрачной вставки, помещенной в стенку контролируемого сосуда². В современное время такой подход можно рассматривать без участия человека, но с применением технологий компьютерного зрения для обработки изображений, благодаря чему можно получить относительно точные измерения уровня жидкости в интеллектуальной бутылке.

Исходя из вышеуказанных особенностей измерения уровня жидкости в разрабатываемой интеллектуальной бутылке, наиболее предпочтительным является использование акустических (локационных и осцилляторных), радарных уровнемеров и интеллектуальных уровнемеров с визуальным отсчетом. В случае акустических уровнемеров наиболее оправдана реализация локационного (через газовую среду или корреляционного) или осцилляторного датчика уровня, которые в отличие от резонансного имеют меньшую склонность к погрешностям при переменном положении резервуара в пространстве. В случае радиоволновых уровнемеров в рамках поставленной задачи наиболее предпочтительна реализация волноводного уровнемера с жестким одинарным зондом. В табл. 1 представлено сравнение волновых уровнемеров (вышеупомянутых акустических и радиоволнового) с интеллектуальным уровнемером с визуальным отсчетом.

¹ ГОСТ 24802-81. Приборы для измерения уровня жидкости и сыпучих веществ. Термины и определения: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 2 июня 1981 г. № 2775: дата введения 1982-07-01.

² Там же.

Таблица 1

Параметры сравнения датчиков уровня

Параметр сравнения	Волновые уровнемеры	Интеллектуальный уровнемер с визуальным отсчетом
1. Влияние внешних факторов на конструкцию и точность измерений		
Температура жидкости и газовой среды	Влияет	Не влияет
Давление газовой среды	Влияет	Не влияет
Взаимное расположение функциональных частей системы	Влияет	Влияет
Пространственное перемещение сосуда с жидкостью	Влияет	Влияет
2. Диапазон и точность измерений		
Величина диапазона измерений	От 0,5 мм до 20 см для небольших емкостей	Определяется фокусным расстоянием камеры
Точность измерений	Большая точность при использовании компенсационных устройств и алгоритмов, есть «слепые» зоны вблизи дна и крышки емкости	Точность зависит от качества обучения модели, есть «слепые» зоны вблизи крышки бутылки
3. Удобство эксплуатации и конструктивные особенности		
Расположение чувствительного элемента	Зонд размещается вдоль оси сосуда, приемник и передатчик ультразвуковых волн располагаются у крышки бутылки	Модуль камеры визуального уровнемера должен располагаться на крышке бутылки

В отличие от волновых датчиков уровня интеллектуальный уровнемер с визуальным отсчетом позволяет получить данные о наличии пены, твердых частиц, цвета жидкости и других дополнительных параметрах, ограничивающих действие классических преобразователей уровня. Универсальность применения и гибкость настройки позволяют повысить интеллектуальный уровень измерительных приборов. предпочтительным решением является использование интеллектуального уровнемера с визуальным отсчетом.

Конструкция и применение интеллектуального уровнемера с визуальным отсчетом

«Умные» устройства, оснащенные датчиками, способные обрабатывать данные и обмениваться ими по сети, являются элементами или модулями такой сети, которые состоят из сенсорной, вычислительной, коммутационной подсистем и подсистемы питания. Интеллектуальный уровнемер с визуальным отсчетом также является элементом сенсорной сети, причем его сенсорная подсеть может быть представлена модулем камеры и системой светодиодов, вычислительная подсистема – микроконтроллером (МК), коммутационная подсистема – модулем беспроводного интерфейса и подсистема писания – аккумулятором.

Все подсистемы модуля сенсорной сети фиксируются на крышке бутылки, за исключением системы светодиодов, которая представляет собой совокупность одиночных светодиодов, расположенных друг за другом по спирали на стенках «умной» бутылки, что гарантирует определение уровня напитка в бутылке при помощи инструментов искусственного интеллекта с заданной точностью. Модуль камеры делает снимок содержимого бутылки, только если она находится в строго вертикальном положении. Вне зависимости от рода жидкости на таком снимке различимы стенки сосуда, граница раздела жидкости и газа (воздуха в бутылке или пара), а по количеству погруженных или не погруженных в жидкость светодиодов, интенсивности их свечения и размерам изображения дна сосуда (если оно имеет место быть на снимке) определяется уровень жидкости и ее прозрачность. В случае прозрачных жидкостей дно бутылки присутствует на снимке, в случае вязких непрозрачных жидкостей для снимка характерны следы напитка на стенках бутылки и т.п.

На рис. 1 представлен эскиз снимка бутылки с налитой в нее прозрачной жидкостью, плохо смачивающей стенки сосуда. Светодиоды 1, находящиеся в жидкости и непосредственно погруженные в нее, имеют почти одинаковую интенсивность свечения. На снимке можно различить дно сосуда 3, а также границу раздела воздушной и жидкой сред 2.

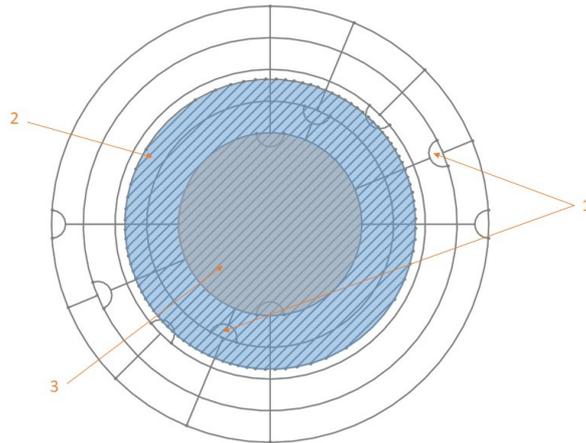


Рис. 1. Эскиз снимка прозрачной жидкости

На рис. 2 представлен эскиз снимка бутылки с налитой в нее непрозрачной жидкостью, плохо смачивающей стенки сосуда. На таком снимке светодиоды *1*, находящиеся над жидкостью, имеют большую интенсивность свечения по сравнению со светодиодами, погруженными в жидкость, что позволяет определить по снимку высоту столба жидкости в бутылке, а также относительную прозрачность напитка. На снимке также можно различить границу раздела воздушной и жидкой сред *3*, но не дно сосуда, как в предыдущем случае.

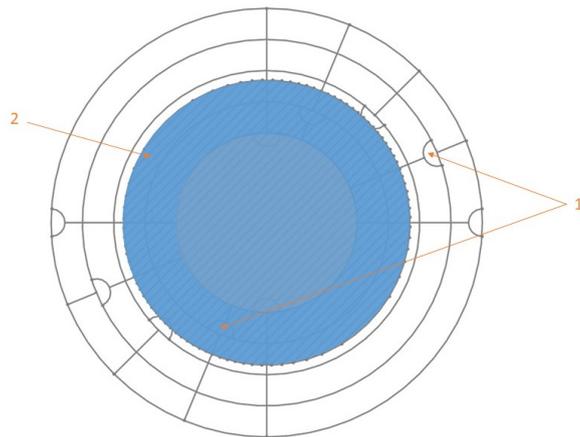


Рис. 2. Эскиз снимка непрозрачной жидкости

На рис. 3 представлен эскиз снимка бутылки с налитой в нее непрозрачной жидкостью, хорошо смачивающей стенки сосуда *3*.

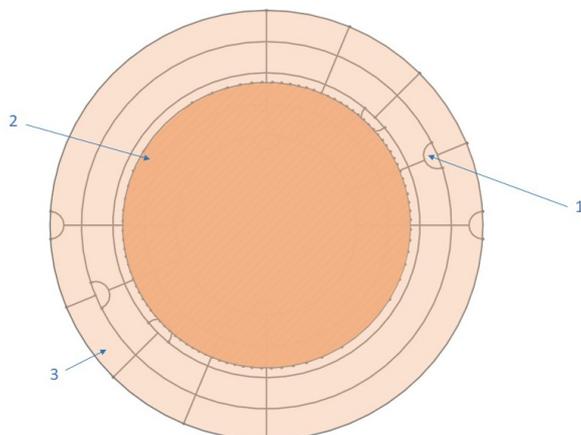


Рис. 3. Эскиз снимка непрозрачной вязкой жидкости

В данном случае часть светодиодов I погружена в жидкость, другая часть, покрытая слоем этой жидкости, возникающим при перемещении напитка внутри сосуда, имеет на снимке более интенсивное свечение, чем светодиоды, находящиеся в фактическом объеме напитка. На снимке можно различить границу раздела воздушной и жидкой сред 2.

Модули камеры и беспроводной сети управляются с помощью микроконтроллера, и полученные в процессе работы устройства снимки передаются с помощью модуля беспроводной сети для последующей обработки на сторонние устройства. Питание уровнемера осуществляется от встроенной аккумуляторной батареи. На рис. 4 представлена функциональная схема интеллектуального уровнемера с визуальным отсчетом.

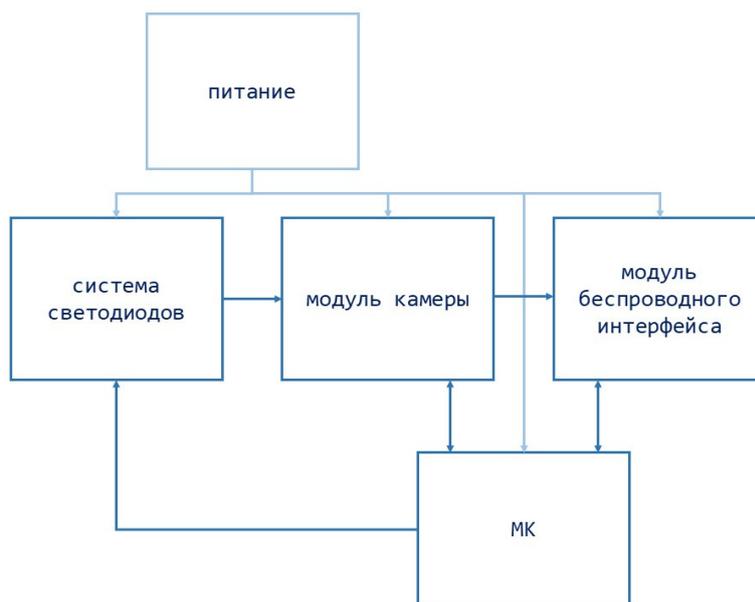


Рис. 4. Функциональная схема интеллектуального уровнемера с визуальным отсчетом

Интеллектуальный уровнемер с визуальным отчетом предназначен для измерения уровня жидкостей с различными физическими характеристиками и может быть применен в рамках промышленности. Гибкость настройки модели машинного обучения позволяет добиться точных результатов измерения уровня в емкостях нестандартной формы и объема на фоне высокой помехозащищенности устройства.

Заключение

В процессе научно-исследовательской работы были рассмотрены существующие «умные» устройства для мониторинга гидратации организма человека и выявлен их основной недостаток – отсутствие функции идентификации содержимого, который ввиду человеческого фактора может существенно повлиять на результаты прогнозов рассматриваемых устройств. Ключевым параметром для вычислений в интеллектуальных бутылках была выбрана высота столба контролируемой жидкости, вследствие чего устранение вышеуказанного недостатка представляется в виде реализации в их конструкции датчика уровня, не чувствительного к роду жидкости.

Посредством анализа существующих методов уровнеметрии были выявлены два основных способа измерения уровня жидкости в рамках решаемой задачи конструирования «умной» бутылки: при помощи волновых датчиков уровня (акустических и радиоволновых) и интеллектуального уровнемера с использованием технологий компьютерного зрения. Ввиду меньшей зависимости от внешних физических факторов и возможности регистрировать совокупность определенных свойств напитка для его правильной идентификации уровнемер с визуальным отсчетом был выбран в качестве наилучшего чувствительного элемента для разрабатываемой «умной» бутылки.

В результате научной работы была предложена конструкция интеллектуального уровнемера и описан принцип его работы. Дальнейшее направление развития рассматриваемого устройства состоит в разработке и реализации его электрической схемы, написании программного кода проектируемого устройства и модели для обработки получаемых изображений.

Список литературы

1. Адаев Н. В., Михеев М. Ю., Коновалов А. В. Нейросетевые системы измерения уровня жидкости // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2007. Т. 1. С. 387–389.
2. Адамова А. А., Башков В. М., Власов А. И. [и др.]. Проведение научных экспериментов в нанотехнологии. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015.
3. Адамова А. А., Зайкин В. А., Гордеев Д. В. Методы и технологии машинного обучения и нейросетевых технологий в задачах компьютерного зрения // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2021. Т. 23, № 4. С. 25–39.
4. Артемьев Э. А., Прошкин В. Н. Способ измерения уровня и массы жидких сред в резервуарах // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2010. Т. 2. С. 153–154.
5. Винокуров Б. Б. Метрология и измерительная техника. Уровнеметрия жидких сред : учеб. пособие для вузов. М. : Юрайт, 2022. 187 с.
6. Граевский О. С., Бадеев А. В. Новый способ измерения уровня жидкости // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2009. Т. 1. С. 419–421.
7. Граевский О. С., Бадеев А. В., Панькин Е. Экспериментальные исследования оптоэлектронного датчика уровня жидкости // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2009. Т. 1. С. 398–401.
8. Гудков К. В., Пискаев К. Ю. Имитационное моделирование элементов киберфизической системы контроля расхода жидкостей // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2017. Т. 1. С. 210–212.
9. Кочан В. В. Построение интеллектуальных систем измерения физических величин // Вестник Брестского государственного технического университета. 2000. № 5. С. 43–44.
10. Кулакова И. И., Федорова О. А., Хорошутин А. В. Методы оптической спектроскопии : метод. пособие к задачам спецпрактикума кафедры химии нефти и органического катализа. М. : МГУ, 2015. 117 с.
11. Фисенко В. Т., Фисенко Т. Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений : учеб. пособие. СПб. : ИТМО, 2008. 195 с.
12. Borofsky M. S., Dauw C. A., York N. [et al.]. Accuracy of daily fluid intake measurements using a «smart» water bottle // Urolithiasis. 2017. Vol. 1–6.
13. Cohen R., Fernie G., Roshan Fekr A. Monitoring fluid intake by commercially available smart water bottles // Sci Rep. 2022. Vol. 12. P. 4402.
14. Strietelmeier J. HidrateSpark PRO Smart Water Bottle review // The Gadgeteer. 2022.

References

1. Adaev N.V., Mikheev M.Yu., Konovalov A.V. Neural network systems for measuring liquid levels. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*. 2007;1:387–389. (In Russ.)
2. Adamova A.A., Bashkov V.M., Vlasov A.I. et al. *Provedenie nauchnykh eksperimentov v nanoinzhenerii = Conducting scientific experiments in nanoengineering*. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2015. (In Russ.)
3. Adamova A.A., Zaykin V.A., Gordeev D.V. Methods and technologies of machine learning and neural network technologies in computer vision problems. *Neyrokomp'yutery: razrabotka, primenenie = Neurocomputers: development, application*. 2021;23(4):25–39. (In Russ.)
4. Artem'ev E.A., Proshkin V.N. A method for measuring the level and mass of liquid media in reservoirs. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*. 2010;2:153–154. (In Russ.)
5. Vinokurov B.B. *Metrologiya i izmeritel'naya tekhnika. Urovnemetriya zhidkikh sred: ucheb. posobie dlya vuzov = Metrology and measuring technology. Level geometry of liquid media : a textbook for universities*. Moscow: Yurayt, 2022:187. (In Russ.)
6. Graevskiy O.S., Badeev A.V. A new way to measure the liquid level. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*. 2009;1:419–421. (In Russ.)
7. Graevskiy O.S., Badeev A.V., Pan'kin E. Experimental studies of an optoelectronic liquid level sensor. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*. 2009;1:398–401. (In Russ.)
8. Gudkov K.V., Piskaev K.Yu. Simulation modeling of elements of a cyberphysical fluid flow control system. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*. 2017;1:210–212. (In Russ.)
9. Kochan V.V. Construction of intelligent systems for measuring physical quantities. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Brest State Technical University*. 2000;(5):43–44. (In Russ.)
10. Kulakova I.I., Fedorova O.A., Khoroshutin A.V. *Metody opticheskoy spektroskopii: metodicheskoe posobie k zadacham spetspraktikumov kafedry khimii nefiti i organicheskogo kataliza = Methods of optical spectroscopy: a*

methodological guide to the tasks of the special practice of the Department of Petroleum Chemistry and Organic Catalysis. Moscow: MGU, 2015:117. (In Russ.)

11. Fisenko V.T., Fisenko T.Yu. *Komp'yuternaya obrabotka i raspoznavanie izobrazheniy: ucheb. posobie = Computer processing and image recognition : a textbook*. Saint Petersburg: ITMO, 2008:195. (In Russ.)
12. Borofsky M.S., Dauw C.A., York N. et al. Accuracy of daily fluid intake measurements using a «smart» water bottle. *Urolithiasis*. 2017;1–6.
13. Cohen R., Fernie G., Roshan Fekr A. Monitoring fluid intake by commercially available smart water bottles. *Sci Rep*. 2022;12:4402.
14. Strietelmeier J. HidrateSpark PRO Smart Water Bottle review. *The Gadgeteer*. 2022.

Информация об авторах / Information about the authors

Арина Александровна Адамова

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры проектирования и технологии
производства электронной аппаратуры,
Московский государственный технический
университет имени Н. Э. Баумана
(Россия, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 5)
E-mail: aadamova@bmstu.ru

Arina A. Adamova

Candidate of technical sciences, associate professor,
associate professor of the sub-department of design
and production technology of the electronic equipment,
Bauman Moscow State Technical University
(5 2-ya Baumanskaya street, Moscow, Russia)

Елена Алексеевна Медведева

студент,
Московский государственный технический
университет имени Н. Э. Баумана
(Россия, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 5)
E-mail: mea21u670@student.bmstu.ru

Elena A. Medvedeva

Student,
Bauman Moscow State Technical University
(5 2-ya Baumanskaya street, Moscow, Russia)

Станислав Григорьевич Семенцов

доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры проектирования и технологии
производства электронной аппаратуры,
Московский государственный технический
университет имени Н. Э. Баумана
(Россия, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 5)
E-mail: siemens_off@mail.ru

Stanislav G. Sementsov

Doctor of technical sciences, associate professor,
professor of the sub-department of design
and production technology of the electronic equipment,
Bauman Moscow State Technical University
(5 2-ya Baumanskaya street, Moscow, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 25.11.2023

Поступила после рецензирования/Revised 15.12.2023

Принята к публикации/Accepted 10.01.2024