



World Conference on Engineering and Technological Sciences

Hosted Online from Rome, Italy

Date: 8th June, 2026

Website: <https://econferencia.com>

ОБОБЩЁННАЯ СТРУКТУРНАЯ СХЕМА И ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ УРОВНЕМЕРОВ

Матякубова П. М.¹

Саидорипов Л. Ф.²

¹Заведующий кафедрой «Метрология, техническое регулирование, стандартизация и сертификация» ТГТУ, д.т.н., профессор

²Первый заместитель директора Агентства по техническому регулированию Узбекистана

Аннотация

В работе рассматривается обобщённая структурная схема оптоэлектронного уровнемера жидких сред, включающего лазерный дальномер, цифровую видеокамеру, блок лазерной подсветки с диафрагмой и управляющий контроллер. Проведён сравнительный анализ технических характеристик семи моделей лазерных дальномеров и четырёх моделей цифровых видеокамер, применяемых в качестве чувствительных элементов. Установлено, что приборы серии Leica DISTO обеспечивают оптимальное сочетание точности (± 1 мм), дальности действия (до 100 м) и возможности беспроводной передачи данных, а камеры с разрешением не менее 1600×1200 пикселей и светочувствительностью ISO 400 пригодны для интеграции в корпус измерительного прибора. Рассмотрены методы измерения уровня импульсный, фазовый и частотный и параметры зондирующих импульсов, определяющие разрешающую способность системы по дальности.



World Conference on Engineering and Technological Sciences

Hosted Online from Rome, Italy

Date: 8th June, 2026

Website: <https://econferencia.com>

Ключевые слова: оптоэлектронный уровнемер, лазерный дальномер, структурная схема, чувствительный элемент, цифровая видеокамера, ПЗС-матрица, импульсный метод, фазовый метод, метрологические характеристики.

Abstract

The paper presents a generalized block diagram of an optoelectronic liquid-level gauge comprising a laser rangefinder, a digital video camera, a laser illumination unit with aperture stop, and a control unit. A comparative analysis of seven laser rangefinder models and four digital camera models used as sensitive elements is carried out. It is established that Leica DISTO instruments provide the best combination of accuracy (± 1 mm), measuring range (up to 100 m), and wireless data transfer capability, whereas cameras with a resolution of at least 1600×1200 pixels and ISO 400 sensitivity are suitable for integration into the gauge body. The pulse, phase, and frequency measurement methods are examined along with the probing pulse parameters that govern the system's range resolution.

Keywords: optoelectronic level gauge, laser rangefinder, block diagram, sensitive element, digital video camera, CCD matrix, pulse method, phase method, metrological characteristics.

Оптоэлектронные системы контроля уровня жидких сред занимают всё более заметное место в нефтегазовой отрасли, химическом производстве и экологическом мониторинге прежде всего благодаря бесконтактному принципу измерения, широкому диапазону контролируемых расстояний и нечувствительности к электромагнитным помехам [1]. В отличие от контактных датчиков, чувствительный элемент лазерного уровнемера не взаимодействует с измеряемой средой, что устраняет целый класс отказов,



World Conference on Engineering and Technological Sciences

Hosted Online from Rome, Italy

Date: 8th June, 2026

Website: <https://econferencia.com>

связанных с коррозией, налипанием вязких продуктов и механическим износом.

Несмотря на очевидные преимущества, создание надёжного оптоэлектронного уровнемера требует решения ряда системных задач: выбора структурной схемы, сочетающей лазерный дальномер и видеокамеру в единой измерительной цепи, а также обоснованного выбора чувствительных элементов с учётом метрологических требований и условий эксплуатации. Именно от правильного выбора этих элементов в значительной мере зависит достижимая погрешность и надёжность системы в целом [2, 3].

Обобщённая структурная схема оптоэлектронного уровнемера включает три функциональных блока: излучающий тракт, приёмный тракт и блок обработки и передачи данных. В излучающий тракт входят лазерный дальномер и блок лазерной подсветки с диафрагмой, формирующей рабочий угол зрения. Приёмный тракт содержит фотоприёмник и цифровую видеокамеру, которая фиксирует положение светового пятна на поверхности жидкости. Управление всеми блоками осуществляет контроллер, связанный с компьютером по каналу Bluetooth или через интерфейс USB [2].

Дальномер определяет расстояние до поверхности жидкости, камера фиксирует координаты светового пятна в плоскости изображения, а компьютер совместно обрабатывает эти данные и вычисляет текущее значение уровня. Такая схема позволяет совместить высокую точность дальнометрии (± 1 мм) с пространственной информацией о форме поверхности, что особенно важно при контроле жидкостей с волнением или неравномерным испарением.

Для надёжного обмена данными между измерительными преобразователями и вычислительным блоком необходимо учитывать

World Conference on Engineering and Technological Sciences

Hosted Online from Rome, Italy

Date: 8th June, 2026

Website: <https://econferencia.com>

метрологические параметры фотодетекторов прежде всего их пороговую чувствительность и динамический диапазон, поскольку именно они определяют минимально регистрируемый уровень отражённого сигнала и диапазон рабочих условий освещённости [3].

Лазерные дальномеры появились практически одновременно с созданием первых лазеров и прошли путь от сугубо военных применений систем наведения бронетехники и авиации до широкого круга гражданских задач, включая геодезию, промышленные измерения и мониторинг уровня жидкостей [4]. Сегодня портативные приборы с классом безопасности излучения 2 обеспечивают точность $\pm 1\text{--}2$ мм при дальности до 100–200 м, что полностью перекрывает потребности резервуарных измерений.

В таблице 1 приведены технические характеристики семи моделей лазерных дальномеров, рассматривавшихся в качестве кандидатов для использования в составе оптоэлектронного уровнемера.

Таблица 1 Основные технические характеристики лазерных дальномеров

Характеристика	Agatec PE	EcoDist+	Stabila LD300	Stabila LE20	EcoDist	Leica D3	Leica A6
Точность, мм	$\pm 1,5$	± 2	± 2	± 5	± 5	± 1	$\pm 1,5$
Дальность, м	0,05–60	0,1–30	0,1–30	0,2–30	0,2–30	0,05–100	0,05–200
Диам. пятна, мм/м	6/10;30/50	6/10	6/10	6/10	6/10	6/10;30/50	6/10;30/50
Интерфейс	—	—	—	—	—	—	Bluetooth
Темп. диапазон, °C	0...+40	0...+40	0...+40	+5...+40	+5...+40	-10...+50	-10...+50
Защита IP	IP54	IP40	—	IP40	IP40	IP54	IP54
Вес (с бат.), г	100	100	110	155	155	110	270



World Conference on Engineering and Technological Sciences

Hosted Online from Rome, Italy

Date: 8th June, 2026

Website: <https://econferencia.com>

Анализ данных таблицы 1 показывает, что наилучшим сочетанием точности (± 1 мм), дальности измерения (до 100 м) и функциональных возможностей обладают приборы серии Leica DISTO. Наличие встроенного интерфейса Bluetooth в модели Leica A6 позволяет использовать её в автоматизированных системах контроля уровня без дополнительной коммутационной аппаратуры [5]. Для конкретного образца уровнемера выбрана модель DISTO D3, излучающая луч с длиной волны 635 нм она обеспечивает точность ± 1 мм при дальности до 100 м и работает в диапазоне температур $-10...+50$ °С, что соответствует условиям эксплуатации в резервуарных парках.

Конструкция лазерного модуля предусматривает встроенный температурный датчик, компенсирующий температурный дрейф оптических параметров при измерениях в условиях открытого воздуха [6]. Параметры зондирующих импульсов: длина волны 635–650 нм, мощность ~ 1 мВт, длительность импульса 10–20 нс, что соответствует разрешению по дальности около 15–30 мм. При необходимости повышенного разрешения импульс может быть укорочен до 2 нс, однако при этом энергия одного импульса снижается до 10–20 мДж.

Ключевыми чувствительными элементами лазерно-телевизионных уровнемеров являются цифровые камеры на ПЗС-матрицах. Зарядово-связанные матрицы (ЦЗС) содержат массив кремниевых фотодиодов, обеспечивающих высокое пространственное разрешение и чувствительность в широком спектральном диапазоне, включая область 635 нм, на которой работают рассмотренные выше лазерные дальномеры [7].

В таблице 2 приведены характеристики четырёх моделей цифровых видеокамер, применявшихся в экспериментальных образцах оптоэлектронных уровнемеров.



World Conference on Engineering and Technological Sciences

Hosted Online from Rome, Italy

Date: 8th June, 2026

Website: <https://econferencia.com>

Таблица 2 Технические характеристики цифровых видеокамер

Параметр	Canon G1	Minolta 7	Nikon 995	Olympus E-10
Тип	Цифровая фотокамера	Цифровая фотокамера	Цифровая фотокамера	Цифровой зеркальный
Разрешение, пикс.	2048×1536	2560×1920	2048×1536	2240×1680
Светочувствит.	ISO 50–400	до ISO 800	ISO 100–800	ISO 50–200
Объектив	f=7–21 мм	f=28–196 мм	f=8–32 мм	f=9–36 мм
Связь с ПК	USB/RS-232C	USB	USB	USB
Вес, г	420	595	390	575

Из таблицы 2 следует, что для задач контроля уровня жидкости предпочтительны камеры с разрешением не менее 1600×1200 пикселей и светочувствительностью до ISO 400, обеспечивающей уверенную регистрацию светового пятна при типичной мощности лазерного модуля [7, 8]. При этом компактные размеры и небольшой вес камеры не более 400–420 г позволяют интегрировать её непосредственно в корпус измерительного прибора, не усложняя механическую конструкцию.

Проведённый анализ показывает, что структурная схема оптоэлектронного уровнемера, объединяющая лазерный дальномер, цифровую видеокамеру и контроллер с беспроводным интерфейсом, обеспечивает точность на уровне ± 1 мм при дальности действия до 100 м. Из рассмотренных моделей лазерных дальномеров наилучшие характеристики для резервуарных измерений демонстрирует серия Leica DISTO, обладающая расширенным температурным диапазоном ($-10...+50$ °C), защитой IP54 и интерфейсом Bluetooth. Среди видеокамер предпочтительны модели с разрешением не ниже 2048×1536 и светочувствительностью ISO 400 при весе, допускающем встройку в корпус прибора.



World Conference on Engineering and Technological Sciences

Hosted Online from Rome, Italy

Date: 8th June, 2026

Website: <https://econferencia.com>

Выбор метода измерения импульсного, фазового или частотного определяется требуемой точностью и физическими свойствами контролируемой среды. Параметры зондирующих импульсов (длительность 10–20 нс, мощность ~1 мВт) обеспечивают разрешение по дальности 15–30 мм, что достаточно для большинства технологических применений. Совместно с результатами исследования коэффициента отражения [9] и обобщённой математической моделью оптического сканирования [10] рассмотренная схема образует полную основу для разработки лазерного уровнемера, пригодного для контроля уровня как тёмных, так и оптически прозрачных нефтепродуктов.

Список литературы

1. Wang H., Li X. Deep learning applications in liquid level detection: A case study on YOLO-based optical systems // Journal of Computer Vision and Image Processing. – 2021. – Vol. 11, No. 4. – P. 67–79.
2. Pozo A., Pérez-Ocón F., Rabaza O. A continuous liquid-level sensor for fuel tanks based on surface plasmon resonance // Sensors. – 2016. – Vol. 16, No. 5. – P. 724.
3. Скворцов Б.В., Жиганов И.Ю., Малышева-Стройкова А.Н. Методы дистанционных измерений геометрических параметров объектов. – Германия: LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – 316 с.
4. Шандров Б.В., Чудаков А.Д. Технические средства автоматизации. – М.: Академия, 2010. – 362 с.
5. Нефёдов В.И. Метрология и радиоизмерения. – М.: Высшая школа, 2006. – 526 с.
6. Берников Б.О., Бокшанский В.Б., Вязовых М.В., Перов А.Н. Исследование факторов, влияющих на погрешность измерения расстояния



World Conference on Engineering and Technological Sciences

Hosted Online from Rome, Italy

Date: 8th June, 2026

Website: <https://econferencia.com>

фазовым лазерным дальномером // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2015. – № 4.

7. Зайцев С.А., Грибанов Д.Д., Толстов А.Н., Меркулов Р.В. Приборы и инструменты. – М.: Академия, 2009. – 464 с.

8. Lin X., Ren L., Xu Y. et al. Low-cost multipoint liquid-level sensor with plastic optical fiber // IEEE Photonics Technology Letters. – 2014. – Vol. 26, No. 16. – P. 1613–1616.