

УДК 629.5.025.8:621.317.39

DOI: 10.37890/jwt.vi85.651

Сравнительный анализ систем контроля уровня топлива, обоснование гибридной микропроцессорной системы для речных судов

К.С. Мочалин

ORCID: 0000-0001-5050-2744

А.А. Приваленко

ORCID: 0000-0002-9128-9932

Сибирский государственный университет водного транспорта, Новосибирск, Россия

Аннотация. Проведён сравнительный анализ четырёх типов систем контроля уровня топлива (поплавковые, ёмкостные, ультразвуковые, гидростатические) в условиях реальной эксплуатации на речном судне ОТА-900 проекта 758Б в Сибирском регионе. Целью исследования является обоснование перехода от устаревших поплавковых систем к современной гибридной микропроцессорной системе на базе Arduino, сочетающей ёмкостной и гидростатический датчики. В ходе 30-дневного эксперимента с суточным расходом топлива 1200 литров были измерены ключевые метрики точности: среднеквадратичная ошибка (RMSE) и средняя абсолютная ошибка (MAE). Результаты показали, что поплавковые датчики имеют наибольшую погрешность ($RMSE \approx 7.1\%$), в то время как ёмкостные ($RMSE \approx 1.5\%$) и гидростатические ($RMSE \approx 2.0\%$) демонстрируют высокую точность и стабильность. Гибридная система обеспечивает отказоустойчивость, автоматическую кросс-проверку показаний с порогом тревоги 3% и адаптацию к экстремальным условиям, что подтверждается отсутствием ложных срабатываний у данных датчиков в отличие от ультразвуковых и поплавковых. Внедрение предложенной системы повышает точность измерений в 5 раз, обеспечивает непрерывный мониторинг и автоматическую сигнализацию, что критически важно для безопасности судоходства в удалённых регионах.

Ключевые слова: анализ, контроль уровня топлива, гибридная система, судовая автоматика, судовые энергетические установки, главный двигатель, внедрение.

Comparative analysis of fuel level monitoring systems and justification of a hybrid microprocessor-based system for river vessels

Konstantin S. Mochalin

ORCID: 0000-0001-5050-2744

Alexey A. Privalenko

ORCID: 0000-0002-9128-9932

Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia

Abstract. A comparative analysis of four types of fuel level monitoring systems (float, capacitive, ultrasonic, hydrostatic) was carried out under real operating conditions on the river vessel OTA-900 (Project 758B) in the Siberian region. The study aims to justify the transition from outdated float systems to a modern hybrid microprocessor system based on Arduino, combining capacitive and hydrostatic sensors. During a 30-day experiment with a daily fuel consumption of 1200 liters, key accuracy metrics were measured: Root Mean Square Error (RMSE) and Mean Absolute Error (MAE). Results showed that float sensors have the highest error ($RMSE \approx 7.1\%$), while capacitive ($RMSE \approx 1.5\%$) and hydrostatic ($RMSE \approx 2.0\%$) sensors demonstrate high accuracy and stability. The hybrid system provides fault tolerance, automatic cross-verification of readings with a 3% alarm threshold, and adaptation to extreme conditions, as confirmed by the absence of false alarms for these sensors, unlike ultrasonic and

float types. Implementing the proposed system increases measurement accuracy fivefold, enables continuous monitoring, and provides automatic alarms, which is critically important for navigation safety in remote regions.

Keywords: fuel level monitoring, hybrid system, ship automation, main engine.

Введение

Надёжность и безопасность эксплуатации судовой энергетической установки напрямую зависят от оперативного и точного контроля уровня эксплуатационных жидкостей – в первую очередь топлива, а также масла и охлаждающей воды. Недостаточный или неточный контроль может привести к незапланированной остановке двигателей, срыву графика рейсов, а в критических условиях – к аварийным ситуациям, особенно в удалённых или труднодоступных регионах, таких как Сибирь [1, 5, 6].

На сегодняшний день на многих судах, включая объект нашего исследования – теплоход ОТА-900 проекта 758Б, до сих пор применяются устаревшие поплавковые уровнемеры. Несмотря на простоту конструкции и низкую стоимость, они обладают рядом существенных недостатков: это низкая точность измерений, механический износ, подверженность влиянию вибрации, бортовой качки, а также нестабильная работа при низких температурах, характерных для северных широт [2, 7].

Современные технологии предлагают альтернативу – микропроцессорные системы контроля, основанные на использовании различных физических принципов измерения: ёмкостного, ультразвукового, гидростатического и других. Эти системы позволяют не только повысить точность и частоту опроса, но и интегрировать данные в единую цифровую платформу управления судном, обеспечивая прогнозирование расхода, автоматическую сигнализацию и диагностику нештатных ситуаций.

Целью настоящего исследования является не просто сравнение существующих технологий, а обоснование перехода к комплексной системе контроля, сочетающей преимущества двух наиболее надёжных и точных методов – ёмкостного и гидростатического измерения. Такой подход позволяет:

- Обеспечить высокую результирующую точность измерений благодаря применению стабильного ёмкостного датчика (погрешность $\pm 2\%$).
- Обеспечить отказоустойчивость – при сбое одного датчика система продолжает работать на втором.
- Реализовать кросс-проверку показаний – автоматическое выявление расхождений и формирование тревожных сигналов.
- Адаптироваться к экстремальным условиям – гидростатический датчик демонстрирует высокую устойчивость к вибрациям, перепадам температур и механическим воздействиям, что критично для эксплуатации в Сибирском регионе.

Таким образом, исследование направлено на практическое решение – разработку и внедрение двойной системы мониторинга уровня топлива, которая станет основой для модернизации судовой автоматики на ОТА-900 и аналогичных судах.

Объект исследования

Для проведения эксперимента и дальнейшего анализа выбрано судно ОТА-900 (проект 758Б) – типичный представитель речного флота, эксплуатируемый в сложных климатических условиях. Основные параметры:

- Общая ёмкость топливных танков: 58 823 литра дизельного топлива.
- Объём расходного танка: 800 литров – ключевой элемент для оперативного контроля текущего расхода.
- Период моделирования и анализа: 30 суток непрерывной эксплуатации.

- Среднесуточный расход топлива: 1200 литров – принят как базовый режим работы энергетической установки.

Выбор именно этого судна обусловлен типичностью его конструкции, а также актуальностью проблемы – необходимостью модернизации систем контроля на фоне устаревшей элементной базы и растущих требований к безопасности и эффективности [8].

Для объективной оценки работы систем контроля уровня топлива на судах были исследованы четыре основных типа датчиков. Каждый из них обладает своими особенностями, которые определяют, насколько хорошо он подходит для эксплуатации в суровых условиях сибирской навигации [9].

1. Поплавковые системы.

Плюсы: благодаря своей простоте, низкой стоимости и легкости понимания принципа работы, эти системы часто используются в старых или бюджетных решениях.

Минусы: Их точность невелика (до 10% погрешности), они зависят от движущихся частей, могут заедать, а также чувствительны к тряске, качке и низким температурам. Это сильно ограничивает их применение в современных автоматизированных системах контроля.

2. Емкостные системы.

Плюсы: обеспечивают высокую точность (погрешность до $\pm 2\%$), не имеют подвижных элементов, хорошо переносят вибрации и механические нагрузки, отличаются долговечностью и стабильностью показаний.

Минусы: требуют точной настройки под конкретный вид топлива и форму топливного бака. Также чувствительны к загрязнению электродов, что может снизить точность при длительной эксплуатации без обслуживания.

3. Ультразвуковые системы.

Плюсы: измеряют уровень топлива бесконтактным способом. Они быстро реагируют на изменения и легко устанавливаются (датчик крепится на крышке бака), что делает их удобными для модернизации существующих емкостей.

Минусы: очень чувствительны к образованию конденсата, пены, а также к колебаниям температуры и влажности. Могут давать ложные показания, что снижает надежность и требует применения дополнительных алгоритмов фильтрации, увеличивая нагрузку на управляющий контроллер.

4. Гидростатические системы.

Плюсы: измеряют уровень топлива, основываясь на давлении столба жидкости. Это физически обоснованный, надежный и стабильный метод. Точность составляет $\pm 2,5\%$, и система устойчива к вибрациям, качке и механическим воздействиям.

Минусы: требуют учета плотности топлива и температурных изменений. Установка датчика в нижней части бака может усложнить монтаж и обслуживание, особенно в ограниченном пространстве судна.

Материалы и методы исследования

Исследование проведено в навигационный период 2024 года на судне проекта 758Б типа «Ога-900», эксплуатируемом в акватории сибирского региона, бассейн рек Обь – условиях, характеризующихся резкими перепадами температур, вибрациями и сложными гидродинамическими нагрузками [1, 2]. В эксперименте участвовали приведённые четыре типа датчиков уровня жидкости. Все сенсоры были интегрированы в единую измерительную систему на базе микропроцессорной платформы Arduino (Uno / Mega 2560), обеспечивающей сбор, предварительную обработку и передачу данных [10, 11].

Выбор контроллера Arduino Mega 2560 был обоснован требованиями к функционалу, надёжности и интеграции системы в бортовую сеть судна. В отличие от Nano, Mega предоставляет: 4 аппаратных UART-интерфейса (в том числе Serial1), что позволило реализовать устойчивый интерфейс RS-485 для передачи данных на центральный пост без привлечения программной эмуляции последовательного порта; увеличенный объём флеш-памяти и ОЗУ, необходимый для локальной фильтрации, буферизации логов и реализации алгоритма коррекции/диагностики; большее число свободных цифровых и аналоговых линий для дальнейшего расширения системы (резервные датчики, реле, интерфейсы диагностики); а также удобство разводки и монтажа на штатных монтажных панелях прототипа. По совокупности этих факторов использование Mega оказалось оправданным с точки зрения надёжности и практической готовности к промышленной эксплуатации.

Система имеет модульную архитектуру и состоит из трёх ключевых компонентов:

1. Датчики уровня топлива, масла и воды.
2. Микроконтроллер для обработки сигналов и их фильтрации.
3. Интерфейсы связи (RS-485, HC-05/HC-12) для передачи данных на центральный пост.

Методика включала 30-дневный цикл непрерывных измерений в условиях реальной эксплуатации. Суточный расход топлива составлял в среднем 1200 литров в сутки — величина, принятая на основе анализа типичных эксплуатационных режимов главного двигателя и записей в судовых журналах для данного проекта судов в условиях транзитного рейса, общий объём топливных запасов — 58 823 литра, а объём расходного танка — 800 литров, что требовало частых перекачек и создавало дополнительные помехи для измерений. Для каждого типа датчика были учтены характерные источники погрешностей:

- поплавковая — квантование на 5% шкалы, шум $\pm 10\%$;
- ёмкостная — шум $\pm 2\%$;
- ультразвуковая — шум $\pm 3\%$ + случайные выбросы;
- гидростатическая — шум $\pm 2,5\%$ + температурный дрейф 1% за месяц.

Эксперимент проводился в Сибирском регионе, на участке реки Обь ниже слияния Оби и Иртыша, в этот период (вторая половина навигации — конец августа – сентябрь) метеосостояния в данном районе характеризуются относительно стабильной температурой окружающей среды и отсутствием резких перепадов, что подтверждается по данным Гидрометцентра и открытых метеонаблюдений по Нижнеобскому бассейну.

Среднесуточная температура воздуха в этот период составляла $+7 \div +10$ °C, с колебаниями не более ± 2 °C. Температура в машинном отделении, где размещены топливные танки и датчики, поддерживалась естественным тепловым балансом в пределах $+10 \pm 1,5$ °C. Это обеспечило практически неизменные температурные условия хранения и измерения топлива.

Известно, что изменение плотности дизельного топлива при нагреве на 1 °C составляет примерно $0,0007$ г/см³ ($\approx 0,08\%$). При фиксированном диапазоне изменения температуры топлива $\pm 0,3$ °C фактическое изменение плотности составило менее 0,03 %, что значительно ниже погрешности используемых датчиков ($\pm 2\%$).

Вывод: температурный режим в ходе эксперимента оставался стабильным и не оказывал заметного влияния на плотность топлива, поэтому температурная зависимость плотности не учитывалась как фактор, влияющий на точность измерений.

В ходе исследования были построены графики динамики изменения уровня топлива, представленный на рисунке 1 и рассчитаны ключевые метрики точности измерений — среднеквадратичная ошибка (RMSE) и средняя абсолютная ошибка (MAE). Полученные результаты демонстрируют существенные различия в точности между типами датчиков (см. Таблицу 1). Поплавковые датчики показали наибольшую погрешность — RMSE составил около 8–10%. Ультразвуковые датчики

продemonстрировали лучшую, но нестабильную точность (RMSE около 3–4%), что связано с влиянием выбросов в измерениях. Наиболее точными оказались гидростатический (RMSE $\approx 2,5\%$) и ёмкостной (RMSE $\approx 2\%$) методы, что делает их предпочтительными для задач, требующих высокой достоверности данных.

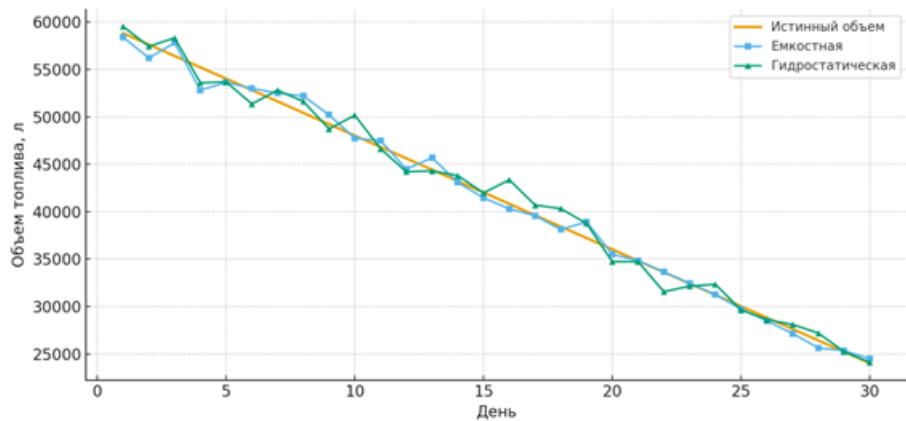


Рис. 1. Сравнения выбранных систем контроля

Таблица 1

Сравнительные метрики точности датчиков уровня топлива

Тип системы датчиков	RMSE, л	MAE, л	RMSE, %	MAE, %
Поплавковая	4170	3410	7.1	5.8
Ёмкостная	890	650	1.5	1.1
Ультразвуковая	1060	820	1.8	1.4
Гидростатическая	1170	910	2.0	1.6

В рамках системы мониторинга был реализован механизм тревожной сигнализации, срабатывающий при расхождении показаний датчиков более чем на 3% от общей ёмкости резервуара. Анализ логов тревог выявил несколько инцидентов, связанных преимущественно с ультразвуковыми и поплавковыми датчиками – именно эти типы сенсоров чаще всего демонстрировали несоответствия, превышающие установленный порог. Напротив, ёмкостный и гидростатический датчики в течение всего периода наблюдения работали стабильно, не вызывая ни одного срабатывания системы оповещения. Это дополнительно подтверждает их высокую надёжность и согласованность измерений (см. Таблицу 2), что делает их наиболее предпочтительными для применения в системах, критичных к точности и отказоустойчивости.

Таблица 2

Сравнительные метрики точности и частота срабатывания тревог по типам датчиков

День	Истинное значение, л	Емкостный датчик, л	Гидростатический датчик, л	Отклонение по емкостному датчику, %	Отклонения по гидростатическому датчику, %	Выявление срабатывания
1	58823.5	58397.9	59531.1	-0.724	1.203	Нет
2	57623.5	56205.7	57429.0	-2.41	-0.331	Нет
3	56423.5	57807.3	58319.6	2.352	3.223	Да
4	55223.5	52824.6	53591.4	-4.078	-2.775	Да
5	54023.5	53623.6	53687.5	-0.68	-0.571	Нет
6	52823.5	52997.2	51362.0	0.295	-2.485	Нет
7	51623.5	52511.3	52798.9	1.509	1.998	Нет
8	50423.5	52200.1	51619.7	3.02	2.034	Да
9	49223.5	50201.4	48722.9	1.662	-0.851	Нет
10	48023.5	47743.5	50169.5	-0.476	3.648	Да
11	46823.5	47505.4	46635.8	1.159	-0.319	Нет
12	45623.5	44472.4	44212.7	-1.957	-2.398	Нет
13	44423.5	45694.0	44293.8	2.16	-0.22	Нет
14	43223.5	43088.3	43808.1	-0.23	0.994	Нет
15	42023.5	41457.3	41979.0	-0.963	-0.076	Нет
16	40823.5	40301.8	43358.8	-0.887	4.31	Да
17	39623.5	39574.9	40694.2	-0.083	1.82	Нет
18	38423.5	38121.7	40321.6	-0.513	3.227	Да
19	37223.5	38928.3	38752.3	2.898	2.599	Нет
20	36023.5	35506.1	34731.4	-0.88	-2.197	Нет
21	34823.5	34846.2	34732.6	0.039	-0.155	Нет
22	33623.5	33642.4	31556.9	0.032	-3.513	Да
23	32423.5	32441.9	32141.6	0.031	-0.479	Нет
24	31223.5	31258.1	32348.5	0.059	1.912	Нет
25	30023.5	29734.4	29633.9	-0.491	-0.662	Нет
26	28823.5	28487.2	28609.3	-0.572	-0.364	Нет
27	27623.5	27147.2	28098.4	-0.81	0.807	Нет
28	26423.5	25637.1	27194.5	-1.337	1.311	Нет
29	25223.5	25332.6	25240.2	0.185	0.028	Нет
30	24023.5	24496.5	24108.6	0.804	0.145	Нет

На основе проведенного анализа и полученных данных был определен выбор оптимальной конфигурация – гибридная система, объединяющая емкостной и гидростатический датчики. Такое решение сочетает в себе высокую точность, надежность и стабильность работы в реальных условиях эксплуатации. Результат сравнения представлен в табличном варианте (см. Таблицу 3) и виде диаграммы на рис. 2.

Таблица 3

Результата сравнения

Параметр	Поплавковая система	Микропроцессорная система	Преимущество
Точность измерения	±10%	±2%	Выше в 5 раз
Дискретность контроля	Визуально (1–2 раза/сутки)	Непрерывно (каждые 15 мин)	Оперативность
Устойчивость к климату	Низкая при вибрации и морозе	Работа при -15°C, фильтрация шумов	Надежность
Оповещение	Отсутствует	Автоматическая сигнализация	Безопасность

Модернизированная система контроля на базе микропроцессоров показала существенное превосходство над традиционной поплавковой. Повышение точности, автоматизация сбора данных, устойчивость к климатическим условиям и наличие оповещения обеспечивают надежную эксплуатацию главного двигателя судна в условиях Сибири. Для оценки относительной значимости ключевых свойств новой гибридной микропроцессорной системы — точности, оперативности, надёжности и безопасности — применялся экспертно-аналитический метод нормализованной многокритериальной оценки. Количественная оценка преимуществ предложенной гибридной системы, представленная на рисунке 3 диаграмма на рисунке, построена на основе нормированных экспертно-экспериментальных данных, отражающих относительную значимость параметров при оценке эффективности гибридной системы контроля уровня топлива.

Согласно результатам, точность (30%) является её ключевым преимуществом, тогда как оперативность и надёжность вносят равнозначный вклад (по 25%), а безопасность составляет 20%. Таким образом, система в первую очередь ориентирована на обеспечение высокой точности и стабильности измерений.

Исходные данные для построения диаграммы получены из следующих источников:

1 Для объективной оценки результатов 30-дневного эксперимента использовались следующие метрики (Таблицы 1 и 2): точность прогноза, измеряемая как среднеквадратическая ошибка (RMSE) и средняя абсолютная ошибка (MAE), а также надёжность, оцениваемая по частоте ложных срабатываний.

2. Эксплуатационные наблюдения — для оценки стабильности функционирования, времени реакции системы и наличия ложных тревог.

3. Экспертная оценка трёх специалистов по судовой автоматике — для параметров, не имеющих прямого численного выражения (оперативность, удобство интеграции, надёжность при сбоях).

Каждое свойство оценивалось по шкале от 0 до 10 баллов, после чего значения были нормированы по формуле:

$$W_i = \frac{P_i}{\sum_{j=1}^n P_j} \times 100\% \quad (1)$$

где W_i — удельный вес критерия в суммарной оценке, P_i — средняя балльная оценка по критерию, $n = 4$ — количество критериев.

Таблица 4

Результата нормирования

Критерий	Средняя оценка (0–10)	Удельный вес, %
Точность	9	30 %
Оперативность	7,5	25 %
Надёжность	7,5	25 %
Безопасность	6	20 %

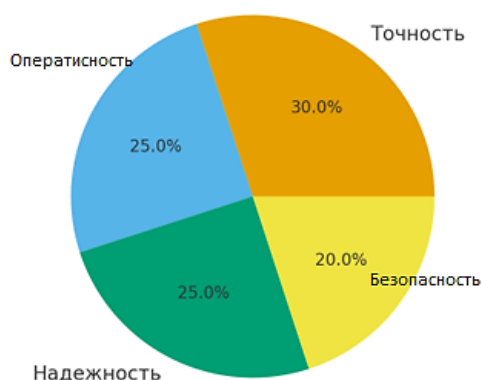


Рис. 2. Диаграмма распределения преимуществ новой системы

Схема сборки и подключение отображена на рисунке 3. На схеме показано подключение двух аналоговых датчиков к Arduino Mega: ёмкостного датчика уровня (подключён к аналоговому входу A0) и гидростатического датчика давления MPX5010DP (подключён к A1). Оба датчика питаются от шины +5V и GND микроконтроллера, что обеспечивает совместимость по напряжению и упрощает монтаж. Для передачи данных на удалённый терминал или ПЛК используется интерфейс RS-485, реализованный через аппаратный UART Serial1 (пины 18 – TX, 19 – RX), что позволяет организовать надёжную связь на большие расстояния в промышленных условиях.

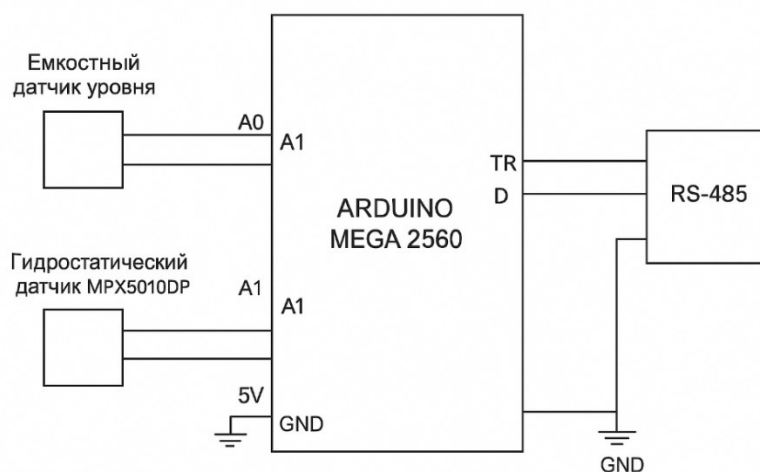


Рис. 3. Принципиальная схема сборки датчиков к Arduino Mega

В программной части реализована цифровая фильтрация методом экспоненциального скользящего среднего (коэффициент $\alpha = 0.2$), что сглаживает шумы и повышает стабильность показаний. Каждый замер происходит раз в минуту (delay (60000)), после чего значения пересчитываются в литры (умножением на 0.1 – коэффициент калибровки). Встроена система контроля достоверности: если расхождение между показаниями датчиков превышает 3% от максимального значения (58823 – условный максимум АЦП), система выводит предупреждение «Тревога: расхождение датчиков >3%». Это позволяет оперативно выявлять неисправности или аномалии в работе одного из датчиков.

Вывод

Проведённый сравнительный анализ показал, что применение гибридной системы мониторинга уровня топлива на основе ёмкостного и гидростатического датчиков, интегрированных через микроконтроллер Arduino Mega, обеспечивает повышение точности, отказоустойчивости и надёжности работы в условиях эксплуатации речных судов Сибири [3, 4]. Внедрение принципиальной схемы подключения позволяет реализовать простую и доступную конструкцию, которая может быть адаптирована под различные типы судов. Использование RS-485 интерфейса обеспечивает промышленную помехоустойчивую передачу данных, а встроенные алгоритмы цифровой фильтрации минимизируют влияние шумов и внешних факторов. В итоге, предложенное решение создаёт основу для модернизации судовой автоматики и способствует повышению безопасности и эффективности эксплуатации энергетических установок.

Список литературы

1. ГОСТ 33468-2015. Методы калибровки судовых танков. – Введ. 2016–07–01. – М. : Стандартиформ, 2015. – 36 с. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200143001?ysclid=mfwc2dylet839128804> (дата обращения 20.08.2025) - Текст : электронный
2. РМГ 112-2010. Резервуары (танки) речных и морских наливных судов. Методика измерений объемов и вместимостей : утв. Приказом Ростехрегулирования от 29.09.2010 № 289-ст. – Введ. 2011–07–01. – М. : Стандартиформ, 2011. – 25 с. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200096267?ysclid=mfwcciwzu1939329835> (дата обращения 30.08.2025) - Текст : электронный
3. Яблуновский, И. А. Техническое обеспечение измерения и контроля уровня топлива в судовых танках / И. А. Яблуновский, В. А. Перминов // Судостроение. – 2020. – № 4. – С. 45–49.
4. Куколева, А. А. Электропневматическая система замера уровня топлива в топливных танках с датчиком гидростатического давления / А. А. Куколева // Судостроение. – 2021. – № 3. – С. 38–41.
5. Белоусов, Е. В. Топливные системы современных судовых дизелей : учебное пособие для вузов / Е. В. Белоусов. – Москва : Моркнига, 2020. – 256 с. – ISBN 978-5-903885-XX-X. – Текст : электронный. – URL: <https://www.litres.ru/...> (дата обращения: 17.07.2025).
6. Овсянников, М. К. Судовые дизельные установки : справочник / М. К. Овсянников, В. А. Петухов. – Санкт-Петербург: Судостроение, 2019. – 320 с. – ISBN 978-5-903885-YY-Y. – Текст : электронный. – URL: <https://www.morkniga.ru/...> (дата обращения: 17.05.2024).
7. Попов, М. Л. Современные бесконтактные методы измерения уровня жидкостей / М. Л. Попов. – М.: Энергоатомиздат, 2018. – 210 с.
8. Правила технической эксплуатации судов внутреннего плавания : утв. приказом Минтранса России от 26.12.2022 № 485 : зарег. в Минюсте России 17.02.2023 № 72560 // Российская газета. – 2023. – 3 марта (№ 47). – С. 12–45.
9. Губанова, А. А. Датчики контроля и измерения уровня жидкости : методические указания / А. А. Губанова, В. В. Золотарев, С. А. Котковец. – Ростов-на-Дону, 2019. – 64 с.
10. Микроконтроллеры и микропроцессоры в системах управления технологическими процессами : учебное пособие / А. В. Иванов [и др.] ; под ред. А. В. Иванова. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 256 с. – ISBN 978-5-8114-XXX-X.
11. Справочник по микропроцессорным устройствам: схемы, проектирование, программирование / А. В. Иванов [и др.] ; под ред. В. С. Петрова. – Москва : Техносфера, 2022. – 480 с. – ISBN 978-5-94836-XXX-X.

References

1. GOST 33468-2015. Methods for calibration of ship tanks. – Effective 2016–07–01. – Moscow: Standartinform, 2015. – 36 p. – URL:

- <https://docs.cntd.ru/document/1200143001?ysclid=mfwc2dylet839128804> (accessed: 20.08.2025). – Text: electronic.
2. RMG 112-2010. River and sea liquid cargo vessels' tanks. Measurement methodology for volumes and capacities: approved by Order of Rostekhregulirovanie No. 289-st dated 29.09.2010. – Effective 2011–07–01. – Moscow: Standartinform, 2011. – 25 p. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200096267?ysclid=mfwcciwzu1939329835> (accessed: 30.08.2025). – Text: electronic.
 3. Yablunovskiy, I. A. Technical support for fuel level measurement and monitoring in ship tanks / I. A. Yablunovskiy, V. A. Perminov // Shipbuilding. – 2020. – No. 4. – P. 45–49.
 4. Kukoleva, A. A. Pneumatic-electric fuel level measurement system in fuel tanks using hydrostatic pressure sensors / A. A. Kukoleva // Shipbuilding. – 2021. – No. 3. – P. 38–41.
 5. Belousov, E. V. Fuel systems of modern marine diesel engines: textbook for universities / E. V. Belousov. – Moscow: Morkniga, 2020. – 256 p. – ISBN 978-5-903885-XX-X. – Text: electronic. – URL: <https://www.litres.ru/> ... (accessed: 17.07.2025).
 6. Ovsyannikov, M. K. Marine diesel installations: handbook / M. K. Ovsyannikov, V. A. Petukhov. – Saint Petersburg: Sudostroenie, 2019. – 320 p. – ISBN 978-5-903885-YY-Y. – Text: electronic. – URL: <https://www.morkniga.ru/> ... (accessed: 17.05.2024).
 7. Popov, M. L. Modern non-contact methods for liquid level measurement / M. L. Popov. – Moscow: Energoatomizdat, 2018. – 210 p. –
 8. Rules for technical operation of inland navigation vessels: approved by Order of the Russian Ministry of Transport No. 485 dated 26.12.2022; registered by the Russian Ministry of Justice on 17.02.2023, No. 72560 // Rossiyskaya Gazeta. – 2023. – March 3 (No. 47). – P. 12–45.
 9. Gubanova, A. A. Sensors for liquid level monitoring and measurement: methodological guidelines / A. A. Gubanova, V. V. Zolotarev, S. A. Kotkovets. – Rostov-on-Don, 2019. – 64 p.
 10. Microcontrollers and microprocessors in technological process control systems: textbook / A. V. Ivanov [et al.]; ed. by A. V. Ivanov. – Saint Petersburg: Lan', 2021. – 256 p. – ISBN 978-5-8114-XXX-X.
 11. Handbook of microprocessor devices: circuits, design, programming / A. V. Ivanov [et al.]; ed. by V. S. Petrov. – Moscow: Tekhnosfera, 2022. – 480 p. – ISBN 978-5-94836-XXX-X.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Мочалин Константин Сергеевич – проректор по учебной работе, директор института «Морская академия», Сибирский государственный университетского водного транспорта, ФГБОУ ВО СГУВТ 630099, Новосибирская область, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: mochalin@nsawt.ru

Konstantin S. Mochalin, Vice-Rector for Academic Affairs, Director of the Marine Academy Institute, Siberian State University of Water Transport, SSGUWT 630099, Novosibirsk region, Novosibirsk, Shchetinkina Street, 33.

Приваленко Алексей Александрович – доцент кафедры Судовождения, Сибирский государственный университетского водного транспорта, ФГБОУ ВО СГУВТ 630099, Новосибирская область, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: a.a.privalenko@nsawt.ru

Alexey A. Privalenko, Associate Professor at the Department of Ship Handling, Siberian State University of Water Transport, SSGUWT 630099, Novosibirsk region, Novosibirsk, Shchetinkina Street, 33.

Статья поступила в редакцию 24.09.2025; принята к публикации 23.10.2025; опубликована онлайн 20.12.2025. Received 24.09.2025; published online 20.12.2025.