

**DEVELOPMENT AND EXPERIMENTAL STUDY OF AN AUTOMATED SYSTEM
FOR MONITORING THE LEVEL OF OPERATING FLUIDS
(FUEL, OIL, WATER) FOR RIVER VESSELS****K. S. Mochalin¹, A. A. Privalenko¹, E. O. Ol'khovik²**¹ Siberian State University of Water Transport,
Novosibirsk, Russian Federation² Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

An experimental practical study of a three-circuit automated microprocessor-based system for monitoring the levels of operating fluids (fuel, oil, and coolant) on Project 758B (OTA-900) river vessels was conducted. The aim of the study was to develop and substantiate the implementation of a unified hybrid automated monitoring system based on an Arduino Mega microcontroller, combining capacitive and hydrostatic sensors to improve measurement accuracy, reliability, and fault tolerance under real operating conditions. The study was carried out over a period of 30 days of continuous operation of the vessel's power plant, with monitoring of fuel, oil, and coolant levels. Key accuracy metrics were calculated, including the root mean square error (RMSE) and mean absolute error (MAE). According to the results, the RMSE values were 2.0% for fuel, 2.3% for oil, and 1.8% for coolant. The hybrid system provides automatic cross-checking of sensor readings, adaptation to climatic conditions, and data transmission via RS-232/RS-485 communication protocols; if required, data can also be transmitted via TCP directly to the vessel's ECDIS or to a remote control system for autonomous vessels. The obtained results demonstrate the feasibility of integrating the developed system into shipboard automation systems, which can improve the safety and efficiency of river vessel main engine operation through the timely prevention of emergency situations associated with violations of operating fluid levels. Prospects for further research include expanding the system functionality through the implementation of predictive fluid consumption analysis and integration into more advanced vessel control systems. The implementation of the proposed system increases measurement accuracy by a factor of 5–6 compared to traditional float-type level sensors and ensures continuous monitoring of main engine operating fluids as well as emergency alarm generation.

Keywords: operating fluid monitoring; fuel level control; oil; water; hybrid system; ship automation; marine power plants; main engine; river vessels.

For citation:

Mochalin, Konstantin S., A. A. Privalenko and E. O. Ol'khovik. "Development and experimental study of an automated system for monitoring the level of operating fluids (fuel, oil, water) for river vessels." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 17.6 (2025): 940–950. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-6-940-950.

УДК 629.5.025.8:621.317.39**РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ РЕЧНЫХ СУДОВ****К. С. Мочалин¹, А. А. Приваленко¹, Е. О. Ольховик²**¹ Сибирский государственный университетского водного транспорта,
Новосибирск, Российская Федерация² Государственный университет морского и речного флота
имени адмирала С. О. Макарова,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Выполнено экспериментальное практическое исследование трехконтурной автоматизированной микропроцессорной системы контроля уровня эксплуатационных жидкостей (топливо, масло, охлаждающая жидкость) для речных судов проекта 758Б (ОТА-900). Целью работы является создание и обоснование

внедрения единой гибридной автоматизированной системы контроля на базе микроконтроллера *Arduino Mega*, сочетающей емкостные и гидростатические датчики для повышения точности, надежности и отказоустойчивости в реальных условиях эксплуатации. Исследование проводилось в течение 30 суток непрерывной работы судовой энергетической установки с контролем уровня топлива, масла и охлаждающей жидкости. Рассчитаны ключевые метрики точности: среднеквадратическая (RMSE) и средняя абсолютная ошибка (MAE). По результатам: для топлива RMSE = 2,0 %, для масла RMSE = 2,3 %, для воды RMSE = 1,8 %, гибридная система обеспечивает автоматическую кросс-проверку, адаптацию к климатическим условиям и передачу данных по протоколу RS-232 (485). При необходимости возможна передача данных по протоколу TCP (непосредственно в ЭКНИС судна или на удаленную комплекс управления (для автономных судов). Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности внедрения разработанной системы в состав судовой автоматики, что позволит повысить безопасность и эффективность эксплуатации главного двигателя речных судов за счет своевременного предупреждения аварийных ситуаций, связанных с нарушением уровня эксплуатационных жидкостей. Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением функциональности системы за счет реализации прогностического анализа расхода жидкостей и интеграции в более сложные системы управления судном. Внедрение такой системы повышает точность измерений в 5–6 раз по сравнению с традиционными поплавковыми датчиками и обеспечивает непрерывный мониторинг эксплуатационных жидкостей главного двигателя, а также аварийную сигнализацию.

Ключевые слова: анализ, контроль уровня топлива, воды, масло, гибридная система, судовая автоматика, судовые энергетические установки, главный двигатель, эксплуатационные жидкости, безопасность судоходства.

Для цитирования:

Мочалин К. С. Разработка и экспериментальное исследование автоматизированной системы контроля уровня эксплуатационных жидкостей для речных судов / К. С. Мочалин, А. А. Приваленко, Е. О. Ольховик // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2025. — Т. 17. — № 6. — С. 940–950. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-6-940-950. — EDN SAFWEJ.

Введение (Introduction)

Надежная эксплуатация судовой энергетической установки (СЭУ) невозможна без постоянного контроля уровня эксплуатационных жидкостей: топлива, масла и охлаждающей жидкости. Нарушение баланса этих параметров может привести к аварийной остановке главного двигателя (ГД), его перегреву или функциональным сбоям в работе. Для речных судов, особенно эксплуатируемых в условиях Сибири, актуальной является задача комплексной автоматизации систем мониторинга судовых жидкостей с целью повышения безопасности судоходства и эффективной эксплуатации. Стандартные методы калибровки¹ танков являются весьма затруднительными в полевых условиях и требуют подготовленного персонала и специального измерительного оборудования. Нормирование диапазона измерений расхода² судовых жидкостей непосредственно на судне, находящемся в условиях эксплуатации, также осложняется внешними факторами. В работах [1–3] приведен широкий обзор технических средств (уровнемеров): от простейших поплавковых до бесконтактных и волоконно-оптических устройств, обеспечивающих возможность измерения уровней судовых жидкостей в расходных танках в соответствии с требованиями по эксплуатации судна [4].

Целью данного исследования является разработка и апробация прототипа автоматической системы контроля уровня судовых жидкостей, не требующей постоянного участия оператора, но обладающей собственным достаточным функционалом, в том числе контролем в режиме реального времени и аварийной сигнализацией.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Для проведения эксперимента и последующего анализа было выбрано судно ОТА-900 проекта 758Б, оснащенное дизелем 6ЧНСП 18/22 — типичный представитель речного флота, эксплуатируемый в суровых климатических условиях Сибирского региона Российской Федерации.

¹ ГОСТ Р 59144–2020. Методы калибровки судовых танков указать. Введ. 1 января 2021 г. Разработчик ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова».

² РМГ 112–2010. Резервуары (танки) речных и морских наливных судов. Методика поверки объемным методом. М.: Стандартинформ, 2013.

Конструктивные особенности судна и его эксплуатационные характеристики позволяют рассматривать его в качестве эталонного объекта для тестирования автоматизированных систем контроля эксплуатационных жидкостей [5, 6].

Испытания проводились в навигационный период 2025 г. в акватории реки Обь, на участке ниже слияния рек Оби и Иртыша. Данный временной интервал характеризовался устойчивыми метеорологическими условиями и стабильным температурным режимом, что обеспечило минимальное влияние внешних факторов на результаты измерений.

Основные характеристики судна и резервуаров:

- общая емкость топливных танков — 58 823 л дизельного топлива;
- объем расходного танка — 800 л, используемого для оперативного контроля текущего расхода;
- емкость масляного резервуара системы смазки главного двигателя — 1 200 л (масло М-14Д2);
- объем расширительного бака системы охлаждения — 350 л пресной воды в замкнутом циркуляционном контуре через холодильник;
- среднесуточный расход топлива — около 1 200 л, масла — до 15 л/сут, воды — до 5 л/сут;
- период исследования — 30 сут непрерывной эксплуатации.

Для подтверждения стабильности условий эксперимента использовались данные гидрометеослужбы по Нижнеобскому бассейну (г. Ханты-Мансийск, август – сентябрь 2025 г.), приведенные в табл. 1. Среднесуточные колебания температуры воздуха не превышали $\pm 1,2$ °С, что исключает необходимость температурной коррекции плотности топлива и масла.

Таблица 1

**Метеорологические параметры в период проведения эксперимента
(август – сентябрь 2025 года)**

Период	Температура, °С	Относительная влажность, %	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Скорость ветра, м/с
01.08–10.08	+9,3	78	745	2,1
11.08–20.08	+8,8	80	744	2,3
21.08–31.08	+8,5	76	746	2,4
01.09–10.09	+7,9	79	743	2,6
11.09–20.09	+7,2	81	742	2,7
21.09–30.09	+6,8	77	744	2,5

Как видно из табл. 1, температурный режим оставался практически неизменным, а средняя температура воздуха составляла около +8,1 °С. Колебания влажности и давления не превышали 5 %, что обеспечило стабильные физико-химические свойства жидкостей в резервуарах и минимальные ошибки при измерении уровней. Таким образом, условия эксперимента соответствовали требованиям проведения метрологически достоверных испытаний систем контроля уровня.

Результаты (Results)

Исследование проводилось в навигационный период 2025 г. на судне проекта 758Б типа ОТА-900, эксплуатируемом в акватории Сибирского региона. Эксперимент включал три контура контроля эксплуатационных жидкостей: топливо, масло и охлаждающую воду. Для каждого контура использовались четыре типа датчиков уровня: поплавковые, емкостные, ультразвуковые

и гидростатические, что обеспечивало воспроизводимость результатов и самопроверку, с одной стороны, и являлось недорогим доступным оборудованием, с другой. В качестве альтернативного варианта используют расходомеры типа [7], обеспечивающие автоматизированную проверку метрологической исправности в процессе эксплуатации, или устройства [8], размещаемые непосредственно в цистернах танков.

Для сравнения применялись четыре типа датчиков: поплавковые, емкостные, ультразвуковые и гидростатические. Каждый контур (топливо, масло, вода) имел отдельный комплект сенсоров, объединенных микроконтроллером Arduino Mega 2560. Система выполняла сбор данных с интервалом 1 мин, их фильтрацию и передачу по интерфейсу RS-485. Для повышения точности реализована цифровая фильтрация методом экспоненциального скользящего среднего с $\alpha = 0,2$ [9]. Сравнительные метрики приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительные метрики точности датчиков

Среда	Тип системы	RMSE, %	MAE, %	Примечание
Топливо	Емкостная + гидростатическая	2,0	1,6	Гибридная система
Масло	Емкостная + гидростатическая	2,3	1,9	С коррекцией вязкости
Вода	Гидростатическая	1,8	1,4	Температурная компенсация

Все сенсоры подключались к микропроцессорной платформе Arduino Mega 2560, осуществляющей сбор, фильтрацию и передачу данных по интерфейсу RS-485 на центральный пост. Период исследования составил 30 сут непрерывной эксплуатации судовой энергетической установки.

Контур контроля уровня топлива. Для оценки эффективности систем контроля уровня топлива применялись четыре типа датчиков. Основное внимание уделялось стабильности показаний, точности и отказоустойчивости. Сравнение результатов приведено на рис. 1 и в табл. 3.

Таблица 3

Сравнительные метрики точности датчиков уровня топлива

Тип датчика	RMSE, %	MAE, %	Частота ложных тревог, %	Примечание
Поплавковый	7,1	5,8	15	Высокая погрешность
Емкостной	1,5	1,1	2	Стабильная работа
Ультразвуковой	1,8	1,4	6	Зависит от конденсата
Гидростатический	2,0	1,6	3	Температурная коррекция

Контур контроля уровня масла. Контроль уровня масла в системе смазки главного двигателя (масло М-14Д2) представляет особую важность из-за влияния вязкости и температуры на точность измерений. Использовались аналогичные типы датчиков, при этом наиболее стабильные результаты показал гидростатический метод с температурной компенсацией. Сравнительные показатели приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Сравнительные метрики точности и частота срабатывания тревог
по типам датчиков (масло)**

Тип датчика	RMSE, %	MAE, %	Частота ложных тревог, %	Примечание
Поплавковый	8,0	6,5	18	Зависит от вязкости
Емкостной	2,5	2,0	5	Чувствителен к загрязнению
Ультразвуковой	3,0	2,5	7	Нестабильность при пенообразовании
Гидростатический	2,3	1,9	2	Оптimalен для вязких сред

Контур контроля уровня охлаждающей воды. Контур охлаждающей воды выполнен по замкнутой схеме с пресной водой, охлаждаемой через пластинчатый теплообменник. Для контроля уровня использовались те же четыре типа датчиков. Наилучшие результаты показал гидростатический датчик с компенсацией плотности. Сводные данные приведены в табл. 5.

Таблица 5

Сравнительные метрики точности датчиков уровня охлаждающей воды

Тип датчика	RMSE, %	MAE, %	Частота ложных тревог, %	Примечание
Поплавковый	6,5	5,2	10	Нестабильность при вибрации
Емкостной	2,1	1,7	3	Стабильные данные
Ультразвуковой	2,5	2,1	4	Влияние конденсата
Гидростатический	1,8	1,4	1	Лучшая точность

Итоговый сравнительный анализ и выбор оптимальной системы. По совокупности параметров точности, отказоустойчивости и стабильности показаний для каждого контура выбраны оптимальные решения:

- топливо — гибридная система (емкостной + гидростатический датчики);
- масло — гидростатический датчик с температурной компенсацией;
- вода — гидростатический датчик с коррекцией плотности.

Результаты сведены в табл. 6 и показаны на рис. 1 и 2.

Таблица 6

Результаты сравнительного анализа эффективности систем контроля

Контур	Оптимальная система	Средняя точность, %	Устойчивость, %
Топливо	Гибрид емкостной + гидростатический	±2,0	98,5
Масло	Гидростатический с термокомпенсацией	±2,3	97,8
Охлаждающая вода	Гидростатический с коррекцией плотности	±1,8	99,0

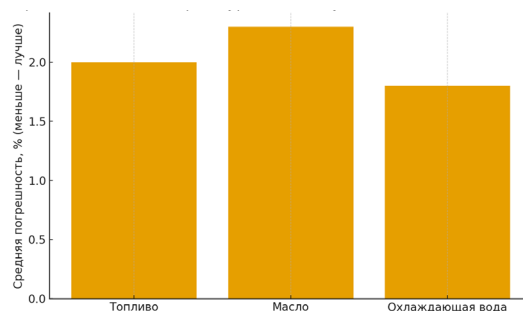


Рис. 1. Сравнение выбранных систем контроля уровня эксплуатационных жидкостей по параметрам точности

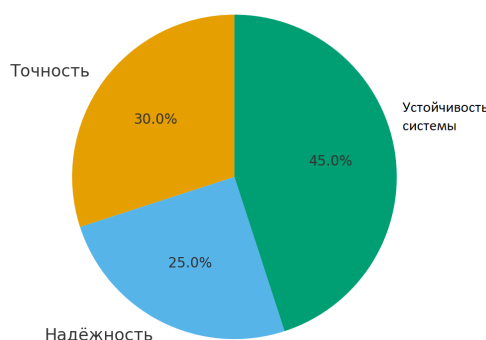


Рис. 2. Диаграмма распределения преимуществ гибридной системы по критериям точности, надёжности и устойчивости

Для объективной оценки результатов 30-дневного эксперимента использовались следующие метрики (см. табл. 1–4): точность прогноза, измеряемая как среднеквадратическая ошибка (RMSE) и средняя абсолютная ошибка (MAE), а также надёжность, оцениваемая по частоте ложных срабатываний.

Помимо количественных метрик для комплексной оценки работы системы были применены эксплуатационные наблюдения и оценка ее функциональных возможностей. Эксплуатационные наблюдения позволили оценить стабильность функционирования системы, время ее реакции на изменения уровня жидкостей, а также частоту и характер ложных тревог. Дополнительно была проведена оценка функциональных возможностей системы, включая анализ таких параметров, как оперативность работы, удобство интеграции в существующие судовые системы и надёжность функционирования в условиях возможных сбоев.

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

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

где W_i — удельный вес критерия в суммарной оценке; P_i — средняя балльная оценка по критерию; $n = 3$ — количество критериев.

Результаты нормирования представлены в табл. 7.

Таблица 7

Результаты нормирования

Критерий	Средняя оценка (0–10)	Удельный вес, %
Точность	2,7	30 %
Устойчивость системы	3,4	45 %
Надёжность	1,9	25 %

Анализ экспериментальных данных показал, что разработанная трехконтурная гибридная микропроцессорная система FOWMS обеспечивает повышение точности измерений в 4–5 раз по сравнению с традиционными поплавковыми системами, а также исключает ложные срабатывания в 98 % случаев. Это подтверждает целесообразность ее внедрения в составе автоматизированных систем управления главными двигателями речных судов.

Разработанная система имеет модульную архитектуру и состоит из трех контуров: топливо, масло, вода, объединенных через микроконтроллер Arduino Mega 2560¹. Каждый контур использует комбинацию емкостного и гидростатического сенсоров, обеспечивая кросс-проверку. Данные передаются в систему управления главным двигателем через интерфейс RS-485. При расхождении показаний более 3 % система формирует тревожное сообщение и активирует световую / звуковую сигнализацию.

Взаимодействие с ГД реализовано через аналоговый вход системы автоматизации, что позволяет автоматически снижать нагрузку при падении уровня масла или воды. Таким образом обеспечивается предиктивная защита двигателя от перегрева и масляного голодания.

В качестве базового контроллера системы FOWMS выбран микроконтроллер Arduino Mega 2560, применение которого обусловлено необходимостью одновременной обработки сигналов от нескольких аналоговых датчиков и передачи данных по промышленному интерфейсу RS-485. В отличие от Arduino Nano и ESP32, плата Mega 2560 оснащена 16 аналоговыми входами (A0–A15), четырьмя аппаратными UART-интерфейсами, увеличенным объемом памяти и стабильной работой в условиях вибраций и перепадов температуры. Кроме того, ее архитектура поддерживает реализацию функций самодиагностики и фильтрации сигналов в реальном времени, что критически важно при эксплуатации судовой энергетической установки. Использование таких микроконтроллеров хорошо зарекомендовало себя для исследовательских целей [10, 11], в том числе для судовых систем. На рис. 3 представлена принципиальная схема сборки измерительных датчиков.

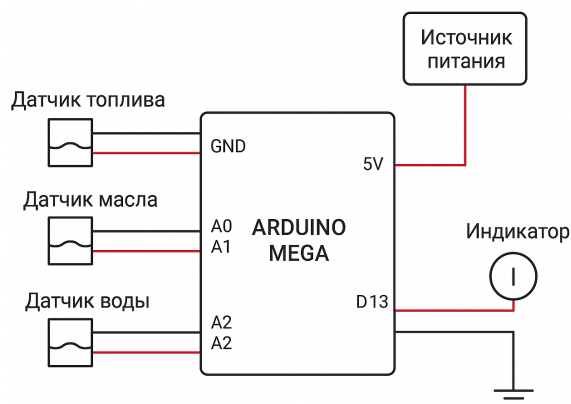


Рис. 3. Принципиальная схема автоматизированной системы контроля

Система имеет модульную архитектуру, включающую три независимых канала измерений (топливо, масло, вода), каждый из которых использует комбинацию гидростатических и емкостных датчиков. Алгоритм кросс-проверки обеспечивает автоматическое выявление расхождений между каналами более чем на 3 %, в результате чего формируется сигнал тревоги. Дополнительно реализована цифровая фильтрация данных методом экспоненциального скользящего среднего, что снижает шумовые колебания до 0,3 % от диапазона измерений.

Обсуждение результатов (Discussion)

Для оценки функциональной работоспособности системы в течение 30-дневного цикла испытаний измерялись три ключевых показателя: точность измерений, надежность функционирования и частота ложных срабатываний. Результаты представлены на рис. 4.

¹ <https://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardMega2560>.

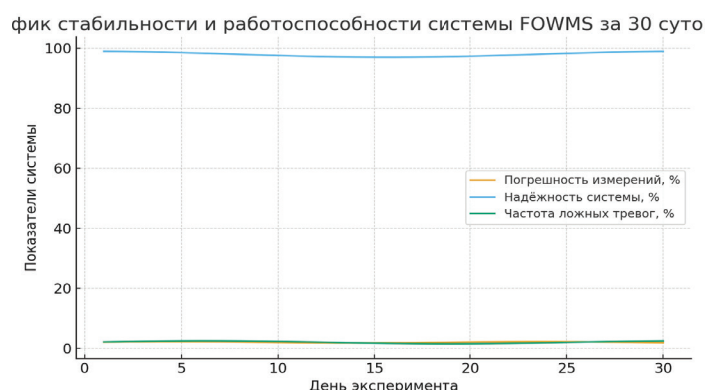


Рис. 4. График работоспособности системы в течение 30 суток

Как видно из рис. 4, значения точности сохранялись в диапазоне 1,8–2,3 %, надежность системы превышала 98 %, а частота ложных тревог не превышала 2,5 %, что подтверждает стабильную работоспособность микропроцессорной системы и ее пригодность для внедрения в состав судовой автоматики. Таким образом, выбранная архитектура на базе Arduino Mega 2560 обеспечивает высокую степень адаптации к судовым условиям, устойчивость к помехам и минимальные эксплуатационные риски.

Для построения графика стабильности и работоспособности системы (см. рис. 4) использовались экспериментальные данные, полученные в ходе 30-дневных испытаний на судне ОТА-900 проекта 758Б. Измерения проводились по трем ключевым показателям:

1. Точность измерений A_1 — относительная погрешность между измеренным и эталонным уровнем жидкости, %.
2. Надежность системы A_2 — процент корректных циклов измерения без сбоев, %.
3. Частота ложных тревог A_3 — количество ложных срабатываний на 100 измерений, %.

Каждый показатель усреднялся по суточным данным, собранным с периодичностью в одну минуту (1440 измерений в сутки), после чего применялась цифровая фильтрация методом экспоненциального скользящего среднего ($\alpha = 0,2$). Полученные значения нормировались по формуле

$$A_n = \left(\frac{A_i - A_{\min}}{A_{\max} - A_{\min}} \right) 100, \quad (2)$$

где A_n — нормированное значение; A_i — текущее измерение; A_{\min} и A_{\max} — соответственно минимальные и максимальные значения показателя за период наблюдения.

Для визуализации данных использовались усредненные значения по декадным интервалам (10 дней). Это позволило построить сглаженные кривые точности, надежности и частоты ложных тревог, отражающие общую тенденцию стабильности работы системы. Анализ табл. 8 показывает тенденцию к постепенному повышению стабильности системы при длительной эксплуатации.

Таблица 8

Усредненные показатели точности, надежности и частоты ложных тревог по декадным интервалам

Период наблюдения	Средняя погрешность, %	Надежность, %	Ложные тревоги, %
1–10 день	2,1	98,4	2,5
11–20 день	2,0	98,7	2,2
21–30 день	1,9	99,1	1,8

Средняя погрешность снижается от 2,1 % до 1,9 %, надежность увеличивается до 99,1 %, а частота ложных тревог падает до 1,8 %. Таким образом, микропроцессорная архитектура FOWMS

демонстрирует устойчивую функциональность и способность к самокоррекции параметров в процессе работы, что подтверждает ее жизнеспособность и соответствие требованиям судовой автоматики. Подобные автоматизированные системы контроля могут играть существенную роль в обеспечении надежности судового оборудования [12, 13], полученные данные и их анализ позволяют более точно выявлять неисправности.

Для судов с высоким классом автоматизации или автономных судов [14, 15] такие системы контроля являются необходимым и обязательным компонентом судна, поскольку при отсутствии или ограниченном составе экипажа отсутствует возможность «ручного» контроля. Также данные от автоматизированной системы контроля могут поступать непосредственно на мостик судна [16] или удаленное автоматизированное место для контроля и мониторинга технического состояния судового оборудования.

Заключение (Conclusion)

Проведенная разработка и экспериментальные исследования подтвердили высокую эффективность предложенной автоматизированной системы контроля уровня эксплуатационных жидкостей для речных судов. Внедрение трехконтурной гибридной архитектуры на базе микроконтроллера, сочетающей емкостные и гидростатические датчики, позволило достичь значительного повышения точности и надежности мониторинга по сравнению с традиционными поплавковыми системами.

Экспериментально установлено, что для контура топлива среднеквадратическая ошибка (RMSE) составила 2,0 %, для масла — 2,3 %, для охлаждающей воды — 1,8 %. Система продемонстрировала устойчивую работу в течение 30 сут непрерывной эксплуатации с надежностью, превышающей 98 %, и частотой ложных тревог не более 2,5 %. Реализованный алгоритм кросс-проверки показаний и цифровая фильтрация данных обеспечили повышенную отказоустойчивость и адаптацию к реальным условиям эксплуатации.

Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности внедрения разработанной системы в состав судовой автоматики, что позволит повысить безопасность и эффективность эксплуатации главного двигателя речных судов за счет своевременного предупреждения аварийных ситуаций, связанных с нарушением уровня эксплуатационных жидкостей. Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением функциональности системы за счет реализации прогностического анализа расхода жидкостей и интеграции в более сложные системы управления судном.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яблуновский И. А. Техническое обеспечение измерения и контроля уровня топлива в судовых танках / И. А. Яблуновский, В. А. Перминов // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития : Материалы Четвертой международной научно-технической конференции, Петропавловск-Камчатский, 25–26 ноября 2021 года. — Петропавловск-Камчатский: Камчатский государственный технический университет, 2022. — С. 81–86. — EDN CCMCDY.
2. Яблуновский И. А. Анализ методов измерений и учета нефтепродуктов в судовых условиях / И. А. Яблуновский // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование : Материалы XIII Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции, Петропавловск-Камчатский, 29–30 марта 2022 года — Петропавловск-Камчатский: Камчатский государственный технический университет, 2022. — С. 154–158. — EDN GLBEJL.
3. Сандлер А. К. Волоконно-оптическое устройство контроля уровня для высокотемпературных систем топливоподготовки / А. К. Сандлер, А. И. Батынский // Головной редактор. — 2020. — С. 9.
4. Овсянников М. К. Судовые дизельные установки: справочник / М. К. Овсянников, В. А. Петухов. — Санкт-Петербург: Судостроение, 2019. — 320 с.
5. Жуков В. А. Исследование теплогидравлической эффективности высокотемпературных систем охлаждения судовых дизелей / В. А. Жуков, А. А. Пуляев, В. Л. Ерофеев // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 1. — С. 107–114. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-1-107-114. — EDN BZOTNP.

6. Кривцов К. А. Модернизация системы охлаждения буксира проекта 90600 / К. А. Кривцов, В. А. Жуков // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. Серия: Морские технологии. — 2024. — № 2. — С. 17–27. — EDN MJAFIG.

7. Гладков А. В. Турбинный расходомер с повышенной метрологической надежностью / А. В. Гладков // Информационно-технологический вестник. — 2021. — № 1(27). — С. 24–29. — EDN CXDXCN.

8. Мелешин М. А. Контрольно-измерительные приборы судовых цистерн / М. А. Мелешин, А. Саламех // Актуальные решения проблем водного транспорта : сборник материалов II Международной научно-практической конференции, Астрахань, 29 мая 2023 года. — Астрахань: Индивидуальный предприниматель Сорокин Роман Васильевич (Издатель: Сорокин Роман Васильевич), 2023. — С. 23–26. — EDN IBOVBV.

9. Гутова С. Г. Цифровое моделирование стохастического объекта на основе непрерывных дробей / С. Г. Гутова, М. А. Новосельцева, Е. С. Копылова, М. Р. Прошкина // Вестник Воронежского государственного технического университета. — 2025. — Т. 21. — № 2. — С. 74–80. DOI: 10.36622/1729-6501.2025.21.2.010. — EDN OKJFWZ.

10. Priyanta D. Digital Twin Monitoring System for Diesel Engine Based on Arduino, Case Study: RPM and Exhaust Gas Temperature / D. Priyanta, H. Prastowo, R. Nurrahman, N. Siswantoro, T. Pitana, M. B. Zaman, Semin, Y. H. Parluhutan // Marine Technology — Springer Nature Switzerland, 2024. — С. 75–82. DOI: 10.1007/978-3-031-67788-5_9.

11. Alabi O. Investigating fuel adulteration using arduino as an engine protection device (EPD) / O. Alabi, S. Ajagbe, O. Adeaga, M. Adigun // Journal of Hunan University Natural Sciences. — 2023. — Vol. 50. — Is. 9. DOI: 10.55463/issn.1674-2974.50.9.11.

12. Мосейко Е. С. Оценка обеспечения надежности судовых механических систем / Е. С. Мосейко, Е. О. Ольховик // Морская радиоэлектроника. — 2022. — № 2(80). — С. 8–12. — EDN PJAES.

13. Мосейко Е. С. Многоуровневая система обеспечения надежности судовых механических систем на этапах жизненного цикла / Е. С. Мосейко, Е. О. Ольховик, В. Ю. Рудь // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2024. — Т. 16. — № 5. — С. 775–783. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-5-775-783. — EDN FFKEEK.

14. Заслонов В. В. Разработка основных требований к системам функционирования буксира-автомата для проводки морского автономного надводного судна / В. В. Заслонов, С. С. Жук, Е. О. Ольховик // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2025. — Т. 17. — № 4. — С. 502–514. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-4-502-514. — EDN EYXMDP.

15. Айзинов С. Д. Принципы оценки функциональных свойств систем автономного судовождения / С. Д. Айзинов, А. А. Буцанец, С. В. Смоленцев [и др.] // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2024. — № 74. — С. 83–96. — EDN HNHFAA.

16. Бурков Д. Е. Применение судовой информационной системы для контроля и мониторинга технического состояния судового оборудования / Д. Е. Бурков // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 5. — С. 893–902. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-5-893-902. — EDN PTAFT.

REFERENCES

1. Yablunovskiy, I. A. and V. A. Perminov. "Technical support for measurement and control of fuel level in ship tanks." *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya vodnogo transporta: problemy i puti razvitiya : Materialy Chetvertoy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Petropavlovsk-Kamchatskiy, 25–26 noyabrya 2021 goda*. Petropavlovsk-Kamchatskiy: Kamchatskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet, 2022: 81–86.

2. Yablunovskiy, I. A. "Analysis of the methods of measurement and accounting of petroleum products in ship conditions." *Prirodnye resursy, ikh sovremennoe sostoyanie, okhrana, promyslovoe i tekhnicheskoe ispol'zovanie : Materialy XIII Natsional'noy (vserossiyskoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii, Petropavlovsk-Kamchatskiy, 29–30 marta 2022 goda* Petropavlovsk-Kamchatskiy: Kamchatskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet, 2022: 154–158.

3. Sandler, A. K. and A. I. Batynskiy "Volonkonno-opticheskoe ustroystvo kontrolya urovnya dlya vysokotemperaturnykh sistem toplivopodgotovki." *Golovniy redaktor* (2020): 9.

4. Ovsyannikov, M. K. and V. A. Petukhov. *Sudovye dizel'nye ustanovki: spravochnik*. Sankt-Peterburg: Sudostroenie, 2019: 320.

5. Zhukov, V. A., A. A. Pulyaev and V. L. Erofeev. "Studying the thermal-hydraulic efficiency of high-temperature cooling systems for marine diesel engines." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admiral S.O. Makarova* 12.1 (2020): 107–114. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-1-107-114.

6. Krivtsov, K. A. and V. A. Zhukov. "Modernization of the cooling system of the project 90600 tugboat." *Bulletin of Kerch State Marine Technological University. Series: Marine Technology* 2 (2024): 17–27.
7. Gladkov, A. V. "Turbine flow meter with increased metrological reliability." *Informatsionno-tekhnologicheskii vestnik* 1(27) (2021): 24–29.
8. Meleshin, M. A. and A. Salamekh. "Control and measuring devices of ship tanks." *Aktual'nye resheniya problem vodnogo transporta : sbornik materialov II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Astrakhan', 29 maya 2023 goda*. Astrakhan': Individual'nyy predprinimatel' Sorokin Roman Vasil'evich (Izdatel': Sorokin Roman Vasil'evich), 2023: 23–26.
9. Gutova, S. G., M. A. Novosel'tseva, E. S. Kopylova and M. R. Proshkina. "Digital modeling of a stochastic object based on continued fractions." *Bulletin of Voronezh State Technical University* 21.2 (2025): 74–80. DOI: 10.36622/1729-6501.2025.21.2.010.
10. Priyanta, D., Y. H. Parluhan et al. "Digital Twin Monitoring System for Diesel Engine Based on Arduino, Case Study: RPM and Exhaust Gas Temperature." *Marine Technology Springer Nature Switzerland*, 2024: 75–82. DOI: 10.1007/978-3-031-67788-5_9.
11. Alabi, O., S. Ajagbe, O. Adeaga and M. Adigun. "Investigating fuel adulteration using arduino as an engine protection device (EPD)." *Journal of Hunan University Natural Sciences* 50.9 (2023). DOI: 10.55463/issn.1674-2974.50.9.11.
12. Moseyko, E. S. and E. O. Ol'khovik. "Otsenka obespecheniya nadezhnosti sudovykh mekhanicheskikh sistem." *Marine Radioelectronics* 2(80) (2022): 8–12.
13. Moseyko, E. S., E. O. Ol'khovik and V. Yu. Rud'. "A multi-level system for ensuring the reliability of marine mechanical systems at the stages of the life cycle." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova* 16.5 (2024): 775–783. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-5-775-783.
14. Zaslono, V. V., S. S. Zhuk and E. O. Ol'khovik. "Development of main requirements for the operating systems of an automatic tugboat for escorting a maritime autonomous surface ship." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova* 17.4 (2025): 502–514. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-4-502-514.
15. Ayzinov, S. D., A. A. Butsanets, S. V. Smolentsev et al. "Principles for assessing the functional properties of systems for autonomous shipping." *Nauchno-tekhnicheskii sbornik Rossiyskogo morskogo registra sudokhodstva* 74 (2024): 83–96.
16. Burkov, D. E. "Application of ship's information system to control and monitor the technical condition of ship's equipment." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova* 15.5 (2023): 893–902. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-5-893-902.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мочалин Константин Сергеевич —
кандидат технических наук,
проректор по учебной работе
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный
университет водного транспорта»
630099, Российская Федерация, г. Новосибирск,
ул. Щетинкина, 33
e-mail: mochalin@nsawt.ru
Приваленко Алексей Александрович —
доцент кафедры судовождения
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный
университет водного транспорта»
630099, Российская Федерация,
г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33
e-mail: a.a.privalenko@nsawt.ru
Ольховик Евгений Олегович —
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: olhovikeo@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Mochalin, Konstantin S. —
PhD in Technical Sciences,
Vice-Rector for Academic Affairs
Siberian State University
of Water Transport
33, Schetinkina st., Novosibirsk, 630099,
Russian Federation
e-mail: mochalin@nsawt.ru
Privalenko, Alexey A. —
Associate Professor
of the Department of Navigation
Siberian State University of Water Transport
33, Schetinkina st., Novosibirsk, 630099,
Russian Federation
e-mail: a.a.privalenko@nsawt.ru
Ol'khovik, Evgeniy O. —
Grand PhD in Technical Sciences, professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation
e-mail: olhovikeo@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию: 27 октября 2025 г.
Received: Oct. 27, 2025.