

## PROTOTYPE OF A FAULT IDENTIFICATION DEVICE IN THE INFORMATION AND MEASUREMENT CHANNEL OF A PRESSURE SENSOR

**A. A. Zhitnikov, A. A. Marchenko**

Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation

*This paper presents the development and experimental testing of a prototype device designed to reduce false alarms in automated control systems of marine power plants. The study examines the architectural features of modern automation systems used at maritime facilities and identifies the main types of failures occurring in information and measurement channels associated with pressure control, one of the key parameters in ship monitoring and control systems. Based on this analysis, the hardware and software components of a prototype device implementing algorithms for fault identification in pressure sensors were developed. The prototype was experimentally tested under simulated fault conditions to evaluate its performance. The results confirmed the device's effectiveness in detecting the most common defects in measurement circuits, while also revealing limitations related to its inability to diagnose certain complex types of sensor failures. To enhance the functional completeness of the system, an additional algorithm is proposed for integrating the device into the architecture of an automated control system to enable more accurate decision-making when fault symptoms are detected. The results of the study can be applied in the modernization of existing control and protection systems of marine power plants to improve their resistance to false triggering and ensure safe and reliable operation of ship equipment.*

*Keywords: automated control system, marine power plant, information and measurement channel, pressure sensor, false alarm, device prototype, fault identification, technical diagnostics, signal processing algorithm, experimental verification, measurement error, control system reliability.*

### For citation:

Zhitnikov, Aleksandr A. and A. A. Marchenko. "Prototype of a fault identification device in the information and measurement channel of a pressure sensor." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 17.5 (2025): 747–755. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-5-747-755.

**УДК 629.5.06**

## ПРОТОТИП УСТРОЙСТВА ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕИСПРАВНОСТИ В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ КАНАЛЕ ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ

**А. А. Житников, А. А. Марченко**

ФГБОУ ВО «Камчатский государственный технический университет»,  
Петропавловск-Камчатский, Российская Федерация

*В данной работе представлено исследование, направленное на разработку и экспериментальную проверку прототипа устройства, предназначенного для предотвращения ложных срабатываний в автоматизированных системах управления судовыми энергетическими установками. В рамках исследования выполнен анализ архитектурных особенностей современных систем автоматизации, используемых на морских объектах, а также выявлены основные типы отказов информационно-измерительных каналов, связанных с контролем давления — одного из ключевых параметров систем мониторинга и регулирования. На основе проведенного анализа разработаны технические и программные компоненты прототипа устройства, реализующего алгоритмы идентификации неисправностей датчиков давления. Представленная модель была подвергнута экспериментальной проверке, в ходе которой оценивалась ее работоспособность в условиях имитации различных видов отказов. Полученные результаты позволили подтвердить эффективность устройства в части распознавания наиболее распространенных дефектов измерительных цепей. Вместе с тем исследование выявило ограничения разработанного устройства, обусловленные невозможностью диагностировать отдельные виды сложных отказов измерительной аппаратуры. Для повышения функциональной полноты системы предложен дополнительный алгоритм интеграции устройства в структуру автоматизированной системы управления, обеспечивающий более точное принятие решений при наличии признаков неисправности. Результаты работы могут быть использованы при модернизации существую-*

щих систем контроля и защиты судовых энергетических установок с целью повышения их устойчивости к ошибочным срабатываниям и обеспечения безопасной эксплуатации оборудования.

*Ключевые слова:* автоматизированная система управления, судовая энергетическая установка, информационно-измерительный канал, датчик давления, ложное срабатывание, прототип устройства, идентификация неисправностей, техническая диагностика, алгоритм обработки сигналов, экспериментальная проверка, погрешность измерения, надежность систем управления.

**Для цитирования:**

Житников А. А. Прототип устройства идентификации неисправности в информационно-измерительном канале датчика давления / А. А. Житников, А. А. Марченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2025. — Т. 17. — № 5. — С. 747–755. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-5-747-755. — EDN VQNURJ.

## Введение (Introduction)

На современном этапе развития морского транспорта судовые энергетические установки представляют собой высокотехнологичные интегрированные системы, в которых автоматизация играет ключевую роль. Эта тенденция обусловлена ростом требований к надежности, экологической безопасности, энергоэффективности и экономической целесообразности при эксплуатации судовых механизмов и систем. В связи с этим технические средства автоматизации становятся неотъемлемой частью жизнедеятельности судна, обеспечивая как нормальный режим работы, так и защиту от аварийных ситуаций.

Функционирование современной системы автоматизации СЭУ осуществляется на основе взаимодействия разнообразных технических устройств, объединенных в единую информационно-управляющую сеть [1], [2]. Такие системы строятся по многоуровневому принципу, что позволяет обеспечить гибкость управления, повысить отказоустойчивость и упростить процесс обслуживания оборудования [3]. Обычно выделяют три основных уровня архитектуры систем автоматизации. На нижнем уровне располагаются исполнительные механизмы и датчики, отвечающие за получение информации о состоянии узлов, механизмов и параметрах работы технологического процесса, на среднем уровне — программируемые логические контроллеры, которые обрабатывают информацию согласно заданному алгоритму и формируют управляющие сигналы [4]. На верхнем уровне располагаются устройства диспетчеризации и сбора информации о состоянии технологического процесса, представленные в виде человеко-машинных интерфейсов для управления и задания определенных режимов работы СЭУ [5], [6].

Особое внимание в системах автоматизации уделяется заданию и поддержанию уставок технологических параметров. Эти программно-заданные значения являются критериями нормального функционирования агрегатов и устройств и служат основой для реализации защитных функций. При превышении допустимых значений параметров система может инициировать различные мероприятия по предотвращению аварийных ситуаций: отключение отдельных узлов, переход на аварийный режим работы, снижение нагрузки или изменение режима функционирования механизмов. Таким образом, своевременная и корректная реакция системы на изменения технологического процесса напрямую зависит от точности задания уставок и правильности обработки сигналов.

Не менее важным является вопрос надежности информационно-измерительных каналов. Поскольку вся информация, используемая для принятия решений, поступает через датчики и линии связи, выход из строя даже одного элемента может повлечь за собой некорректную работу всей системы [7], [8]. Например, неисправность датчика температуры может вызвать ложное срабатывание аварийно-предупредительной сигнализации, что в свою очередь может привести к необоснованной остановке главного двигателя или другого оборудования [9]. Таким образом, можно сделать вывод о том, что эффективность функционирования СЭУ в значительной степени определяется качеством и надежностью ее автоматизированной системы управления. Современные подходы к построению таких систем, основанные на модульности, гибкости и распределенной обработке информации, позволяют обеспечивать высокую степень автоматизации, однако требуют постоянного внимания к состоянию информационно-измерительных каналов [10], [11].

Целью данного исследования является разработка программно-аппаратного устройства идентификации неисправности датчика давления, которая может быть применена в автоматизированной системе управления с целью предотвращения ложной остановки агрегатов и узлов СЭУ из-за неисправности средства измерения давления, связанной с проблемами внешнего характера.

### Методы и материалы (Methods and Materials)

В качестве материалов исследования будет рассмотрен информационно-измерительный канал автоматизированной системы управления, ключевым элементом которого является датчик избыточного давления «Метран-150TG». Данные измерительные устройства относятся к ряду *умных*, т. е. имеют возможность конфигурирования параметров при помощи соединения по протоколу HART. Кроме того, данное устройство имеет возможность самодиагностики внутренних элементов и узлов.

В основу построения алгоритма микроконтроллера устройства идентификации неисправности датчика заложены данные о переходных характеристиках средства измерения давления (рис. 1). Данная информация нормирована производителем и для рассматриваемой модели представляет две характеристики: время запаздывания и время переходного процесса.

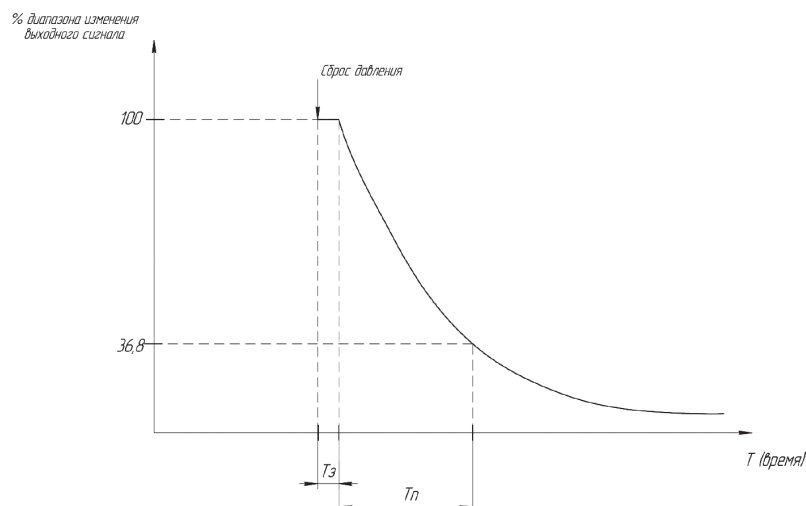


Рис. 1. График динамических характеристик датчика давления «Метран-150 TG»:  $T_z$  (время запаздывания) — 90 мс;  $T_n$  (время переходного процесса) — 100 мс

Данные времени переходного процесса нормируются для полного диапазона измерения. Это означает, что при резком сбросе давления от верхнего до нижнего уровня датчик изменит свое показание за 190 мс на 63,2 % от диапазона измерения.



Рис. 2. Конфигурирование датчика избыточного давления «Метран-150 TG»

В метрологической лаборатории датчик давления был сконфигурирован при помощи HART-коммуникатора (рис. 2). После этого он имеет следующие параметры работы:

- диапазон измерения от 0,2 до 1 МПа;
- время электронного демпфирования выходного сигнала — 0,045 с;
- тип аналогового выходного сигнала — 4–20 мА;

### Результаты (Results)

Устройство идентификации неисправности информационно-измерительного канала давления представляет собой программно-аппаратное устройство, считывающее показания аналогового выходного сигнала токовой петли.

Алгоритм устройства (рис. 3) будет определять изменение параметра выходного аналогового сигнала датчика давления и контролировать работу средства измерения в диапазоне. В случае отклонения параметра за границы диапазона или превышения скорости изменения показаний за единицу времени устройство идентификации выдаст дискретный сигнал, сигнализирующий о неисправности в информационно-измерительном канале.

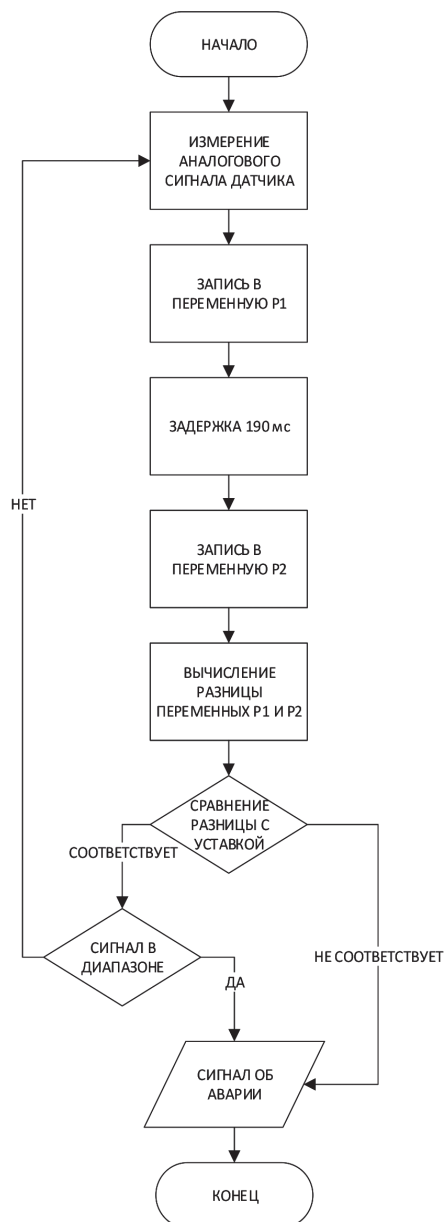


Рис. 3. Алгоритм работы устройства идентификации неисправности информационно-измерительного канала давления

В основу алгоритма обработки данных микроконтроллером заложена математически вычисленная величина изменения показаний аналогового выходного сигнала датчика давления за единицу времени. Для полного диапазона измерения датчика максимально возможной величиной изменения аналогового выходного сигнала 4–20 мА за 190 мс является значение 10,112 мА.

Аппаратная часть устройства идентификации неисправности информационно-измерительного канала давления строится на базе микроконтроллера ATmega 328PU. Кроме того, для интеграции данного устройства в автоматизированную систему управления судовой энергетической установки микроконтроллеру необходимы периферийные элементы.

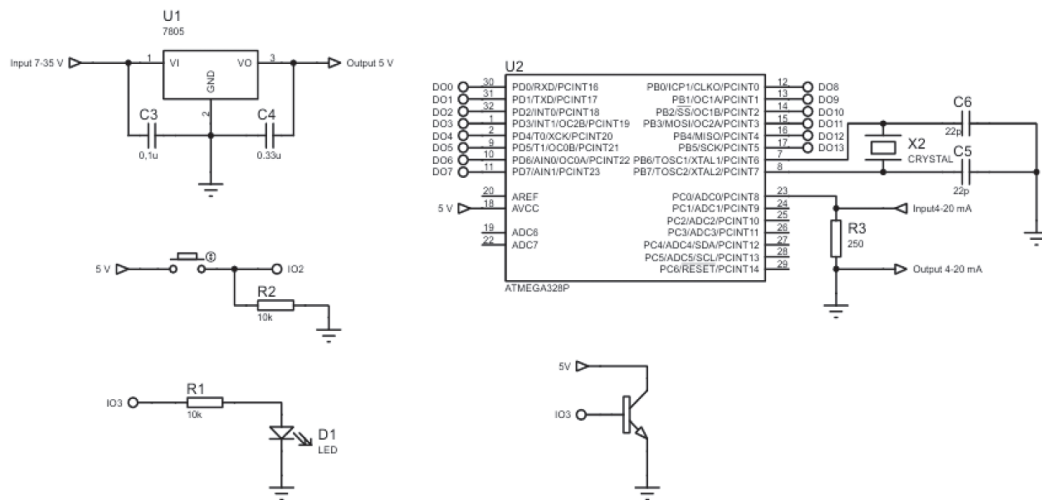


Рис. 4. Электрическая принципиальная схема устройства идентификации неисправности датчика давления

Организация питания устройства осуществляется через стабилизатор напряжения L7805CV — DG, подключенный к двум конденсаторам с номинальной емкостью 0,1 нФ и 0,33 нФ. Микроконтроллер соединяется с внешним тактовым генератором 16 МГц, подключенным к конденсаторам с номинальной емкостью 22 пФ. Выходной аналоговый сигнал датчика давления конвертируется при помощи резистора с номинальным сопротивлением 220 Ом в сигнал напряжения 0,88–4,4 В.

В качестве средств идентификации неисправности в устройстве используется IGBT-транзистор и красный светодиод, подключенный последовательно с резистором, имеющим номинальное сопротивление 220 Ом. Для обеспечения сброса ошибки на устройстве будет применяться кнопка, подключенная через резистор 10 кОм. Прототип устройства, собранного на распаечной макетной плате, приведен на рис. 5.

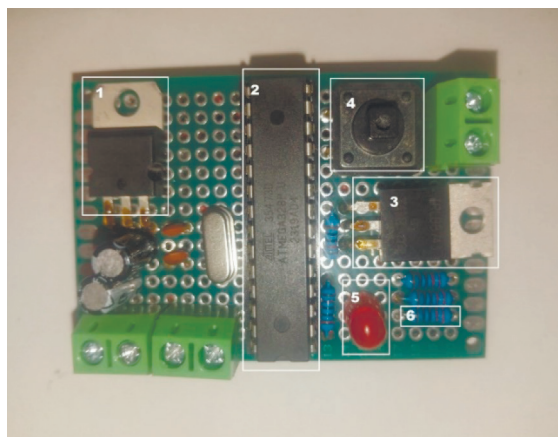


Рис. 5. Прототип устройства идентификации неисправности датчика давления:  
1 — стабилизатор напряжения; 2 — микроконтроллер; 3 — транзистор;  
4 — кнопка; 5 — светодиод; 6 — резистор 220 Ом



Процедура проведения проверки заключалась в скачкообразном изменении аналогового выходного сигнала с калибратора Beatech MC5-B-IS. Для этого эталонное средство задания аналогового выходного сигнала подключалось к устройству идентификации неисправности датчика давления и источнику питания АТН-2031 последовательно (рис. 6).

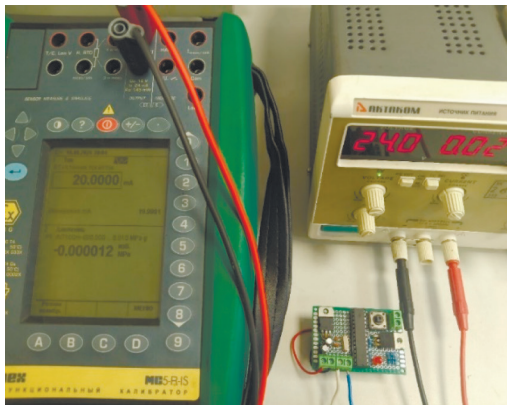


Рис. 6. Процедура проведения проверки

Изменение аналогового сигнала производилось на 11 мА как на уменьшение, так и на увеличение. Кроме того, выполнялась проверка выхода аналогового сигнала за пределы диапазона измерения на 1 мА для верхнего и нижнего диапазонов. Во всех случаях устройство, отработав корректно, выдавало дискретный сигнал на выходе.

### Обсуждение (Discussion)

Ложные срабатывания представляют собой реакцию защитной системы на сигналы, не соответствующие реальному аварийному состоянию оборудования. Причины возникновения подобных ситуаций различны — начиная от ошибок программного обеспечения и заканчивая физическими повреждениями измерительных цепей. Подобные обстоятельства не только нарушают штатную эксплуатацию оборудования, но и создают предпосылки для возникновения аварийных ситуаций, особенно если система защиты реагирует на ложный сигнал в условиях высокой нагрузки или ограниченной возможности дублирования функций. Кроме того, частые ложные срабатывания снижают доверие экипажа к автоматическим системам, что в дальнейшем может привести к игнорированию действительно важных предупреждений.

Основными источниками некорректной работы средств измерения давления являются следующие факторы:

- нарушение целостности клеммного соединения датчика, приводящее к разрыву электрической цепи или увеличению переходного сопротивления;
- попадание влаги под корпус или крышку датчика, что может вызывать изменение выходного сигнала вследствие коррозии контактов или изменения диэлектрических свойств среды;
- механическое повреждение проводов связи, обусловленное вибрацией, трением о конструкции или неправильной прокладкой кабеля;
- электромагнитные помехи и наводки, возникающие вследствие близости силовых кабелей, несоблюдение правил экранирования или заземления.
- дребезжание контактных соединений средства измерения из-за вибраций.

Все указанные факторы способны привести к искажению информационного сигнала, передаваемого от датчика к контроллеру, что в свою очередь может быть интерпретировано системой защиты как критическое отклонение параметра от нормы. В результате происходит необоснованное отключение агрегата, переход на аварийный режим работы или даже полная остановка.

Данное устройство позволяет осуществлять постоянный контроль за целостностью линий связи, анализировать параметры сигналов, а также выявлять потенциально опасные отклонения

в работе датчиков до момента их выхода из строя. Все это позволяет своевременно предпринять профилактические меры, чтобы исключить возможность ложного срабатывания и повысить общую отказоустойчивость автоматизированной системы управления.

К *слабым местам* данного устройства относится его неспособность к идентификации неисправностей метрологического характера. Такие проблемы, как дрейф нуля или выход за пределы погрешности средства измерения, данное устройство определить не в состоянии.

С целью повышения эффективности устройства путем предотвращения остановки агрегатов СЭУ его можно интегрировать в автоматизированную систему управления, используя дополнительные алгоритмы в программируемых логических контроллерах (рис. 7).

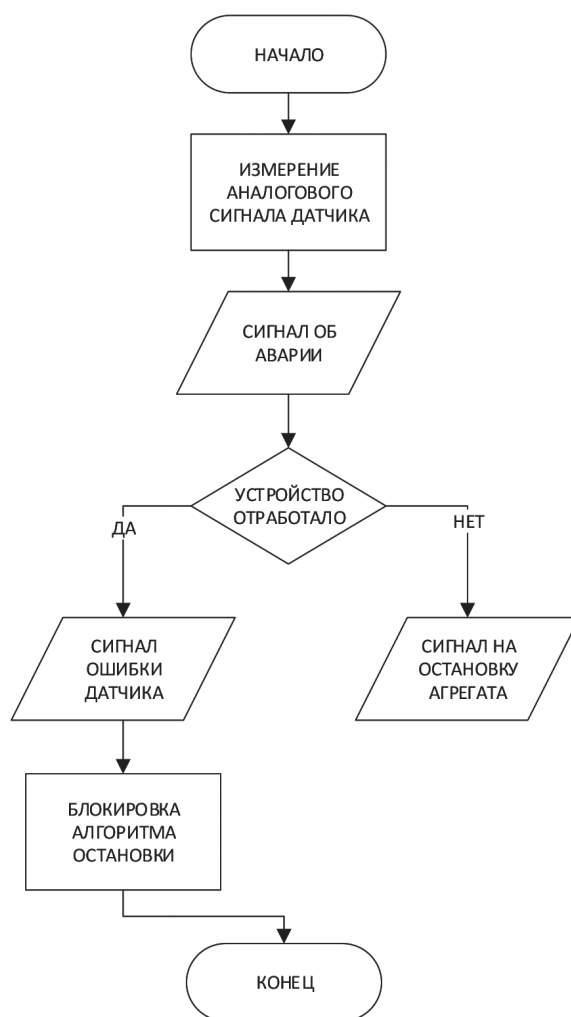


Рис. 7. Алгоритм автоматизированной системы управления для внедрения

Представленный алгоритм может работать параллельно с основной программой. Кроме того, его использование в значительной степени сократит временные затраты персонала на поиск и устранение неисправности в информационно-измерительном канале датчика давления.

### Заключение (Conclusion)

В ходе выполнения данной работы был разработан и представлен прототип устройства для предотвращения ложных срабатываний. В рамках исследования в качестве первого этапа был выполнен анализ принципов построения современных автоматизированных систем управления СЭУ. Затем были выявлены основные неисправности информационно-измерительных каналов давления, на которые направлена разработка данного прототипа. Далее были разработаны техни-

ческие и программные составляющие последующего прототипа. В качестве второго этапа был поставлен эксперимент, целью которого являлась проверка работоспособности собранной модели устройства идентификации неисправности средства измерения давления.

Необходимо отметить, что недостатком представленного устройства является невозможность идентификации некоторых неисправностей измерительной техники. С целью внедрения разработанного устройства в СЭУ приведен дополнительный алгоритм работы автоматизированной системы управления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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 им. адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 5. — С. 893–902. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-5-893-902. — EDN PTAFT.

2. Жидков Н. А. Повышение экономической и энергетической эффективности судовых двигателей внутреннего сгорания в условиях ужесточения экологических требований / Н. А. Жидков, О. В. Новикова // Цифровая трансформация экономических систем: проблемы и перспективы (ЭКОПРОМ-2022): сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции с зарубежным участием, Санкт-Петербург, 11–12 ноября 2022 года. — Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. — С. 274–277. DOI: 10.18720/IEP/2021.4/80. — EDN SALBXA.

3. Валов Д. С. Системы управления судовыми энергетическими установками автономных судов / Д. С. Валов, С. А. Валгин // Актуальные исследования. — 2023. — № 5(135). — С. 19–28. — EDN QGRTJJ.

4. Коновалов П. О. Опыт развития и применения в эксплуатации систем мониторинга технического состояния судовых ДВС / П. О. Коновалов, А. А. Иванченко, Г. Л. Ларионов // Тенденции развития науки и образования. — 2023. — № 100–5. — С. 102–108. DOI: 10.18411/trnio-08-2023-246. — EDN TWLWLBX.

5. Московцев Ю. П. Принципы создания АСУ ТП гражданских судов / Ю. П. Московцев // Системы управления и обработки информации. — 2000. — № 1. — С. 61–68.

6. Корчанов В. М. Системы управления пропульсивной судовой установкой на базе комплекта КСА / В. М. Корчанов, Ю. П. Московцев, Г. П. Орунов // Системы управления и обработки информации. — 2000. — № 1. — С. 61–68.

6. Агеев В. И. Контрольно-измерительные приборы судовых энергетических установок: устройство, эксплуатация, эффективность: справочник / В. И. Агеев. — Ленинград: Судостроение, 1985. — 416 с.

7. Темнов В. Н. Метрологическое исследование объектов контроля / В. Н. Темнов. — СПб: ВМИИ, 2006. — 331 с.

8. Ивановский В. Г. Мониторинг рабочего процесса судовых дизелей в эксплуатации / В. Г. Ивановский, Р. А. Варбанец // Двигатели внутреннего сгорания. — 2004. — № 2. — С. 138–141.

9. Bushuev O. Yu. Detection of changes in the state of a pressure sensor by analyzing the output signal / O. Yu. Bushuev, A. S. Semenov, A. O. Chernavsky, A. L. Shestakov // Proceedings of the XX IMEKO World Congress “Metrology for Green Growth”, Busan, Republic of Korea. — September 9–14, 2012 — IMEKO, 2012.

10. Кучеренко В. А. Моделирование системы диагностики датчиков судовых энергетических систем / В. А. Кучеренко // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2024. — № 1. — С. 331–336. DOI: 10.24412/2071-6168-2024-1-331-332. — EDN IHTLJB.

## REFERENCES

1. Burkov, D. E. “Application of a ship information system for monitoring and controlling the technical condition of ship 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.

2. Zhidkov, N. A. and O. V. Novikova. “Improving the economic and energy efficiency of marine internal combustion engines under conditions of tightening environmental requirements.” *Tsifrovaya transformatsiya ekonomicheskikh sistem: problemy i perspektivy (EKOPROM-2022): sbornik trudov VI Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s zarubezhnym uchastiem, Sankt-Peterburg, 11–12 noyabrya 2022 goda*. Sankt-Peterburg: POLITEKh-PRESS, 2022: 274–277. DOI: 10.18720/IEP/2021.4/80.



3. Valov, D. S. and S. A. Valgin. "Control systems for marine power plants of autonomous ships." *Aktual'nye issledovaniya* 5(135) (2023): 19–28.
4. Konovalov, P. O., A. A. Ivanchenko and G. L. Larionov. "Opyt razvitiya i primeneniya v ekspluatatsii sistem monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya sudovykh DVS." *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya* 100–5 (2023): 102–108. DOI: 10.18411/trnio-08-2023-246.
5. Moskovtsev, Yu. P. "Principles of creating an automated process control system for civil ships ." *Control and information Processing Systems: Scientific And Technical Collection* 1 (2000): 61–68.
6. Korchanov, V. M., Yu. P. Moskovtsev and G. P. Orunov. "Control systems for a ship's propulsion plant based on the ksa set." *Control and information Processing Systems: Scientific And Technical Collection* 1 (2000): 61–68.
7. Ageev, V. I. *Kontrol'no-izmeritel'nye pribory sudovykh energeticheskikh ustanovok: ustroystvo, ekspluatatsiya, effektivnost': spravochnik* Leningrad: Sudostroenie, 1985: 416.
8. Temnov, V. N. *Metrologicheskoe issledovanie ob'ektov kontrolya* SPb: VMII, 2006: 331.
9. Ivanovskiy, V. G. and R. A. Varbanets. "Monitoring rabocheho protsessa sudovykh dizeley v ekspluatatsii." *Dvigateli vnutrennego sgoraniya* 2 (2004): 138–141.
10. O. Yu. Bushuev et al. "Detection of changes in the state of a pressure sensor by analyzing the output signal." *Proceedings of the XX IMEKO World Congress "Metrology for Green Growth", Busan, Republic of Korea. — September 9–14, 2012.*
11. Kucherenko, V. A. "Modeling of the diagnostic system of sensors of ship power systems." *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* 1 (2024): 331–336. DOI: 10.24412/2071-6168-2024-1-331-332.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Житников Александр Андреевич** — аспирант  
ФГБОУ ВО «Камчатский государственный  
технический университет»  
683003, Российская Федерация,  
Петропавловск-Камчатский,  
ул. Виллюйская, 56/1  
e-mail: zhitnikov-alexandr@mail.ru

**Марченко Алексей Александрович** —  
кандидат технических наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Камчатский государственный  
технический университет»  
683003, Российская Федерация,  
Петропавловск-Камчатский,  
ул. Виллюйская, 56/1  
e-mail: Marchenko\_Alx@inbox.ru

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Zhitnikov, Aleksandr A.** — Postgraduate  
Federal State Budgetary Educational Institution of  
Higher Education  
"Kamchatka State Technical University"  
56/1, Vilyuyskaya St., Petropavlovsk-Kamchatsky,  
683003, Russian Federation  
e-mail: zhitnikov-alexandr@mail.ru

**Marchenko, Aleksey A.** —  
PhD in Technical Sciences, Associate Professor  
Federal State Budgetary Educational Institution of  
Higher Education  
"Kamchatka State Technical University"  
56/1, Vilyuyskaya St., Petropavlovsk-Kamchatsky,  
683003, Russian Federation  
e-mail: Marchenko\_Alx@inbox.ru

Статья поступила в редакцию: 29 июля 2025 г.

Received: July. 29, 2025.