

Научная статья

УДК 629.5.06

DOI 10.46845/1997-3071-2026-80-95-109

**Разработка прототипа устройства идентификации неисправности
информационно-измерительного канала частоты оборотов двигателя
внутреннего сгорания**

Александр Андреевич Житников¹✉, Алексей Александрович Марченко²

^{1,2} Камчатский государственный технический университет, Петропавловск-Камчатский, Россия

¹ zhitnikov-alexandr@mail.ru ✉

² Marchenko_Alx@inbox.ru

Аннотация. В статье представлены результаты разработки и лабораторной проверки прототипа устройства, предназначенного для оперативного выявления аномалий в работе информационно-измерительных каналов частоты вращения судовых двигателей внутреннего сгорания. Предложенный прототип реализует комплексный подход к диагностике, основанный на одновременном применении двух независимых методов контроля. Первый метод заключается в анализе временных характеристик дискретного сигнала, формируемого индуктивным датчиком частоты вращения: осуществляется измерение длительности и периодичности импульсов, что позволяет выявлять такие неисправности, как обрыв сигнальной цепи, залипание или пропуск импульсов, а также деградацию магнитной системы датчика. Второй метод основан на непрерывном мониторинге уровня унифицированного аналогового токового сигнала стандарта 4–20 мА, используемого в большинстве промышленных систем автоматики. Оценка его статических и динамических характеристик позволяет диагностировать неисправности, связанные с деградацией преобразователя, нестабильностью питания или нарушением целостности линии передачи. Устройство реализовано на базе микроконтроллера. Практическая значимость разработки заключается в возможности существенного сокращения времени локализации и устранения неисправностей информационно-измерительных каналов частоты оборотов за счет автоматического распознавания аномалий без привлечения дополнительных средств диагностики. Кроме того, устройство обеспечивает повышение общей устойчивости функционирования судовой энергетической установки благодаря возможности интеграции диагностической информации в систему управления. В частности, полученные данные могут использоваться для блокировки ложных срабатываний защитных функций, вызванных деградацией измерительного канала, тем самым предотвращая необоснованные переходы судовой энергетической установки в аварийные режимы и снижая риск неплановых остановок. Таким образом, предложенное решение способствует повышению эксплуатационной надежности и безопасности судовых технических средств.

Ключевые слова: датчик частоты оборотов, информационно-измерительный канал, система управления, алгоритм, аварийная остановка, аналоговый сигнал, дискретный сигнал.

Для цитирования: Житников А. А., Марченко А. А. Разработка прототипа устройства идентификации неисправности информационно-измерительного канала частоты оборотов двигателя внутреннего сгорания // Известия КГТУ. 2026. № 80. С. 95–109. DOI 10.46845/1997-3071-2026-80-95-109.

Original article

Development of a prototype device for identifying a malfunction of the information-measuring channel of the internal combustion engine speed

Aleksandr A. Zhitnikov^{1✉}, Aleksey A. Marchenko²

^{1,2} Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

¹ zhitnikov-alexandr@mail.ru ✉

² Marchenko_Alx@inbox.ru

Abstract. This article presents the results of the development and laboratory testing of a prototype device designed to quickly detect anomalies in the operation of speed measurement channels in marine internal combustion engines. The proposed prototype implements a comprehensive diagnostic approach based on the simultaneous use of two independent monitoring methods. The first method involves analyzing the temporal characteristics of a discrete signal generated by an inductive speed sensor: measuring the pulse duration and periodicity, which enables the detection of faults such as open circuits, stuck or missing pulses, and degradation of the sensor's magnetic system. The second method is based on continuous monitoring of the standard 4–20 mA analog current signal used in most industrial automation systems. Evaluating its static and dynamic characteristics enables the diagnosis of faults related to converter degradation, power supply instability, or transmission line integrity issues. The device is based on a microcontroller. The practical significance of this development lies in its ability to significantly reduce the time it takes to localize and troubleshoot faults in RPM data and measurement channels by automatically recognizing anomalies without the need for additional diagnostic tools. Furthermore, the device improves the overall operational stability of the ship's power plant by integrating diagnostic information into the control system. Specifically, the obtained data can be used to block false alarms of protective functions caused by measurement channel degradation, thereby preventing unnecessary transitions of the ship's power plant to emergency modes and reducing the risk of unscheduled shutdowns. Thus, the proposed solution contributes to the increased operational reliability and safety of shipboard technical equipment.

Keywords: speed sensor, information-measuring channel, control system, algorithm, emergency stop, analog signal, discrete signal.

For citation: Zhitnikov A. A., Marchenko A. A. Development of a prototype device for identifying a malfunction of the information-measuring channel of the internal combustion engine speed. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2026;(80):95–109. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2026-80-95-109.

ВВЕДЕНИЕ

В современных системах управления судовыми двигателями внутреннего сгорания информационно-измерительные каналы частоты оборотов играют ключевую роль в обеспечении стабильной и эффективной работы силовой установки. Данные устройства обеспечивают сбор информации о частоте вращения коленчатого вала и его угловом положении, что позволяет системе управления точно регулировать моменты впрыска топлива, зажигания и других параметров, влияющих на энергетические характеристики и экологические показатели двигателя [1–3].

На сегодняшний день структура информационно-измерительного канала частоты оборотов двигателя внутреннего сгорания может варьировать в широком диапазоне решений в зависимости от целей и условий эксплуатации. В основе большинства современных систем лежат бесконтактные датчики, основанные на принципах индуктивной, магниторезистивной или оптической сенсорики. Они обеспечивают высокую точность измерений при минимальном износе и устойчивость к вибрационным и температурным воздействиям, характерным для судовых условий.

Особую опасность представляют неисправности, возникающие в информационно-измерительных каналах частоты оборотов, поскольку они зачастую не сопровождаются явными внешними признаками до момента развития аварийной ситуации. Наиболее распространенным сценарием является постепенная деградация характеристик датчика, вызванная воздействием агрессивной среды. Факторами, влияющими на ухудшение характеристик, могут быть повышенная влажность, температурные колебания, вибрации, загрязнения масляными парами или солями [4–6]. В таких условиях возможно ослабление амплитуды выходного сигнала, искажение его формы или потеря отдельных импульсов.

Не менее критичны и внезапные отказы, связанные с обрывом проводников, коротким замыканием в цепи датчика или полным выходом из строя его электронной части. В таких случаях электронный блок управления, не получая необходимых данных о частоте вращения вала, может остановить двигатель или перевести его в аварийный режим работы. В условиях морской эксплуатации, где доступ к резервным средствам ограничен, такие ситуации могут повлечь за собой необходимость экстренного захода в порт, простой судна и значительные экономические потери.

Сложность диагностики подобных неисправностей усугубляется тем, что их проявления часто могут восприниматься персоналом как проблемы в работе механической части двигателя [7–10]. Более того, в условиях эксплуатации при высоких температурах окружающей среды или при резких изменениях нагрузки могут возникать временные сбои, не фиксируемые системой самодиагностики, но приводящие к эпизодическим нарушениям в работе агрегата. Такие неисправности особенно опасны, поскольку не позволяют своевременно принять меры и могут спровоцировать внезапную остановку двигателя в ответственный момент, например, при маневрировании в узкости или швартовке [11, 12].

На сегодняшний день судостроительные компании реализуют различные подходы к повышению надежности и достоверности показаний информационно-

измерительных каналов [13]. К наиболее консервативному варианту относится дублирование средств измерений ответственных узлов. Данный подход отличается своей дороговизной как для постройки, так и для эксплуатации системы управления судна.

Одним из наиболее распространенных направлений, активно используемых на сегодняшний день, является установка интеллектуальных датчиков с алгоритмами самодиагностики. Устройства такого рода, как правило, передают информацию о показаниях в систему управления в виде цифрового сигнала, однако алгоритмы самодиагностики средств измерений направлены на внутренние схемы датчиков, что не дает возможности диагностировать информационно-измерительный канал целиком [14].

К активно развивающимся направлениям решения данной проблемы можно отнести использование методов машинного обучения. Методы данного направления являются достаточно перспективными, но они также имеют существенные недостатки. К основным из них можно отнести необходимость обучения на большом объеме данных, внедрения серьезных вычислительных мощностей для работы и отсутствие прозрачности принятых решений [15].

Целью данной работы является разработка прототипа устройства идентификации неисправности в информационно-измерительном канале частоты оборотов, не требующего значительных материальных и вычислительных затрат.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве материалов исследования были использованы высокочастотный дискретный сигнал с индуктивного датчика частоты оборотов и унифицированный выходной сигнал токовой петли 4-20 мА. Метод идентификации неисправности будет заключаться в анализе выходного сигнала для поиска ненормального режима работы информационно-измерительного канала частоты оборотов двигателя внутреннего сгорания.

Для выявления некорректного сигнала использовалось вычисление минимального и максимального значения времени для одного импульса. Выход за временной диапазон импульса идентифицируется алгоритмом как неисправность. Время для вычисления одного импульса находилось из данных о максимальных и минимальных значениях оборота двигателя (рис. 1).

Для определения неисправности по наличию унифицированного аналогового сигнала 4-20 мА был использован алгоритм сравнения заданных значений максимальных и минимальных оборотов двигателя внутреннего сгорания с текущим значением измеряемого параметра. Причина необходимости анализа такого рода сигнала заключается в его уязвимости к электромагнитным помехам разного рода. Опасность заключается в том, что кратковременный импульс может быть интерпретирован системой управления как ненормальный режим работы агрегата. Такого рода уязвимость не может быть определена выходным сигналом индуктивного датчика, так как данное устройство оценивает только наличие или отсутствие сигнала.

Аппаратная часть прототипа устройства была построена на микроконтроллере ATmega328P с дополнительными электронными элементами: стабилизатор напряжения L7805CV-DG, резисторы номинальными

сопротивлениями 200 Ом, оптопара PC817A, реле SRD-05VDC-SL-C. Все компоненты размещаются на печатной макетной плате и скрепляются между собой проводами.

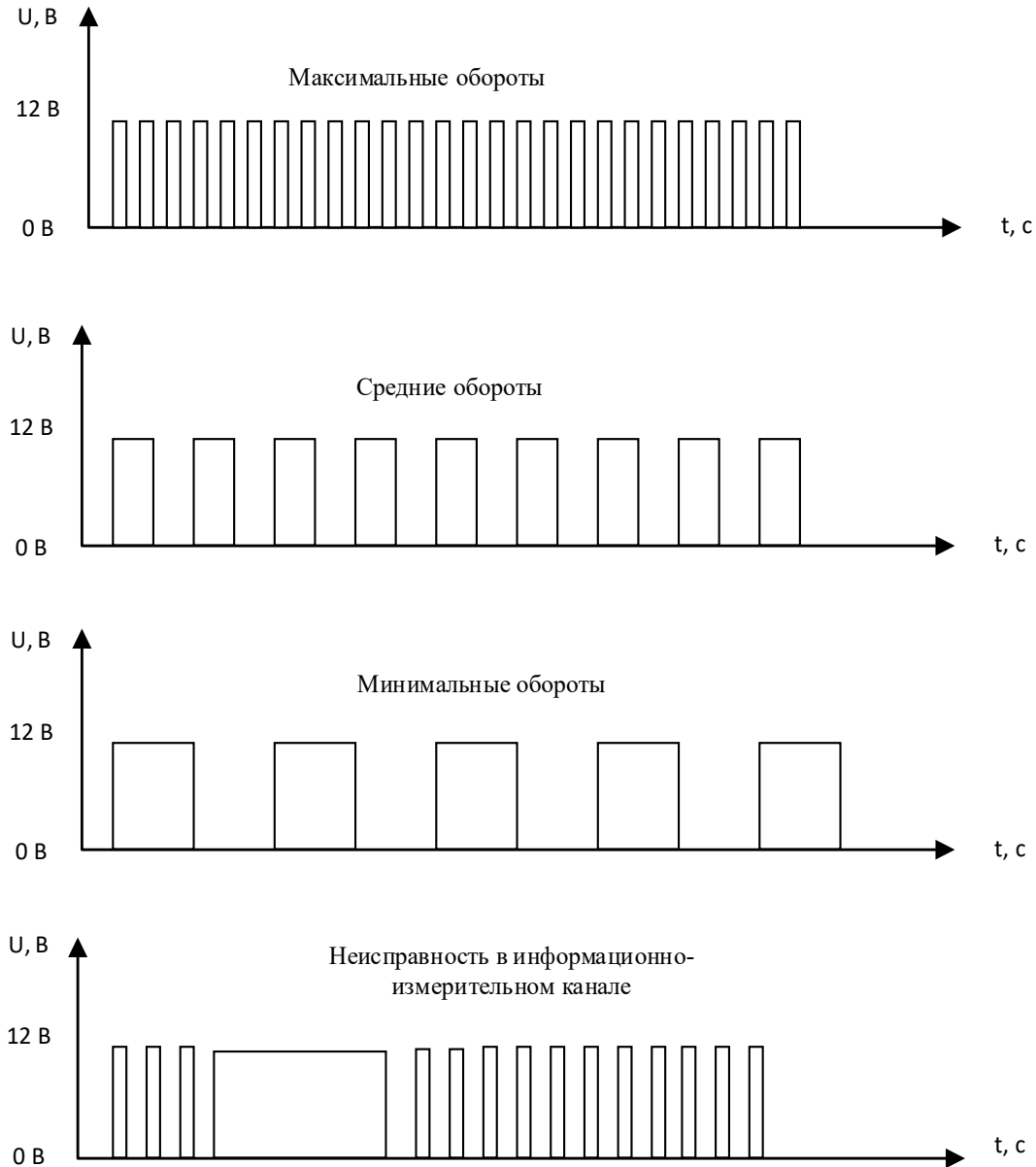


Рис. 1. Диапазоны временных интервалов дискретных сигналов индуктивного датчика частоты оборотов

Fig. 1. Time interval ranges of discrete signals of the inductive speed sensor

Для оценки работоспособности прототипа применялись многофункциональный калибратор Beamex MC5-R для имитации значения выходных сигналов в информационно-измерительном канале и проверки работоспособности алгоритма прототипа, источник питания АТН-2031 и высокоточный мультиметр ТУ720 Yokogawa.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Алгоритм работы микроконтроллера для определения неисправности в информационно-измерительном канале частоты оборотов основывается на измерении времени одного импульса (рис. 2). Продолжительность дискретного сигнала с индуктивного датчика может быть разной, но его максимальное и минимальное значения не должны выходить за диапазон частоты оборотов двигателя внутреннего сгорания.

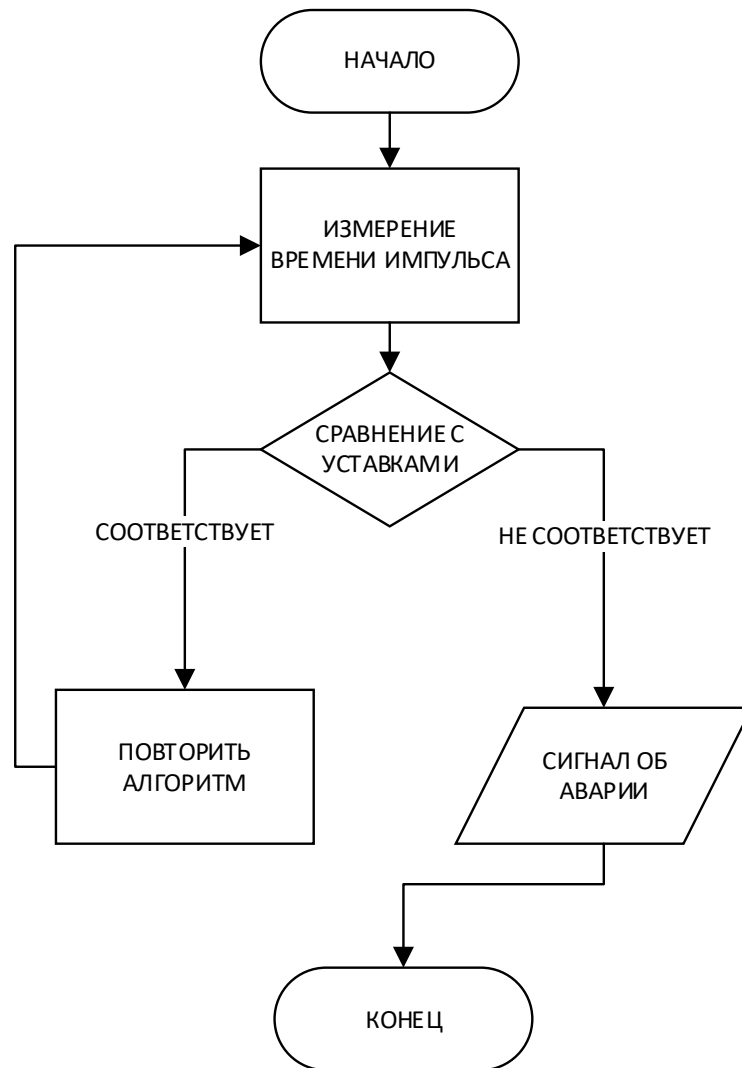


Рис. 2. Структурная схема алгоритма для высокочастотного индуктивного датчика
Fig. 2. Structural diagram of the algorithm for a high-frequency inductive sensor

Алгоритм анализа выходного унифицированного сигнала 4-20 мА направлен на оценку достоверности показаний частоты оборотов. Оценка производится по верхнему и нижнему уровням допустимых значений измеряемого параметра. Ключевое отличие данного алгоритма от предыдущего заключается в анализе величины сигнала, а не его времени.

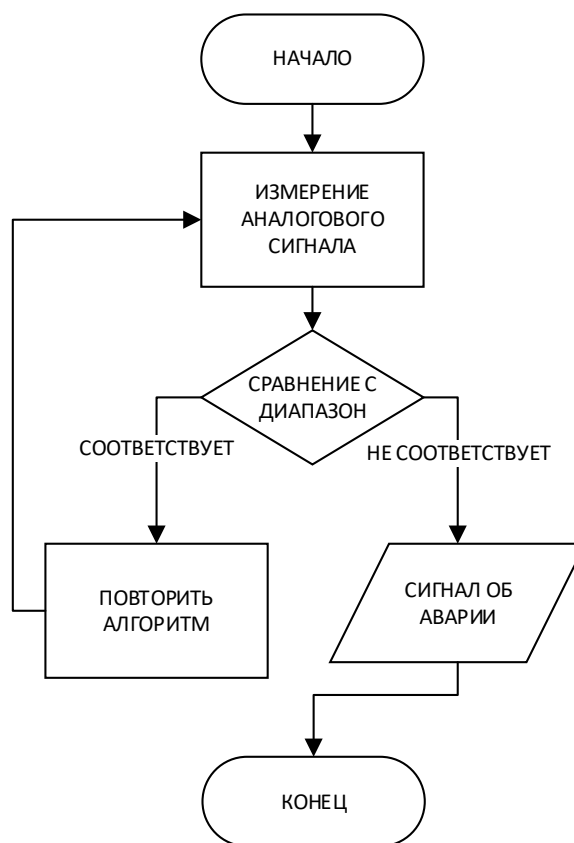


Рис. 3. Структурная схема алгоритма для анализа аналогового сигнала
Fig. 3. Structural diagram of the algorithm for analyzing an analog signal

Аппаратная часть представляет собой совокупность электронных компонентов, размещенных на распаячной макетной плате. Питание для устройства осуществляется через стабилизатор напряжения L7805. Анализ входных сигналов производится микроконтроллером. Высокочастотный сигнал оборотов с индуктивного датчика поступает на вход микроконтроллера через оптопару. Данная мера применяется по причине того, что промышленные датчики данного типа рассчитаны на 12 и 24 В. Это значение необходимо снизить до 5 В. Аналоговый унифицированный сигнал тока считывается микроконтроллером при помощи сопротивления общим номиналом 200 Ом. Микроконтроллер измеряет падение напряжения на сопротивлении в диапазоне от 0,8 до 4 В. В случае обнаружения неисправности микроконтроллер будет выдавать дискретный сигнал на реле SRD-05VDC-SL-C. Данный сигнал можно использовать для интеграции устройства в общую систему управления или подключения устройства сигнализации об ошибке.

Общий вид устройства после сборки представлен на рис. 4. Основные компоненты устройства:

- 1 – микроконтроллер ATmega328P;
- 2 – стабилизатор напряжения L7805;
- 3 – оптопара PC817A;
- 4 – реле SRD-05VDC-SL-C;
- 5 – резисторы общим сопротивлением 200 Ом.

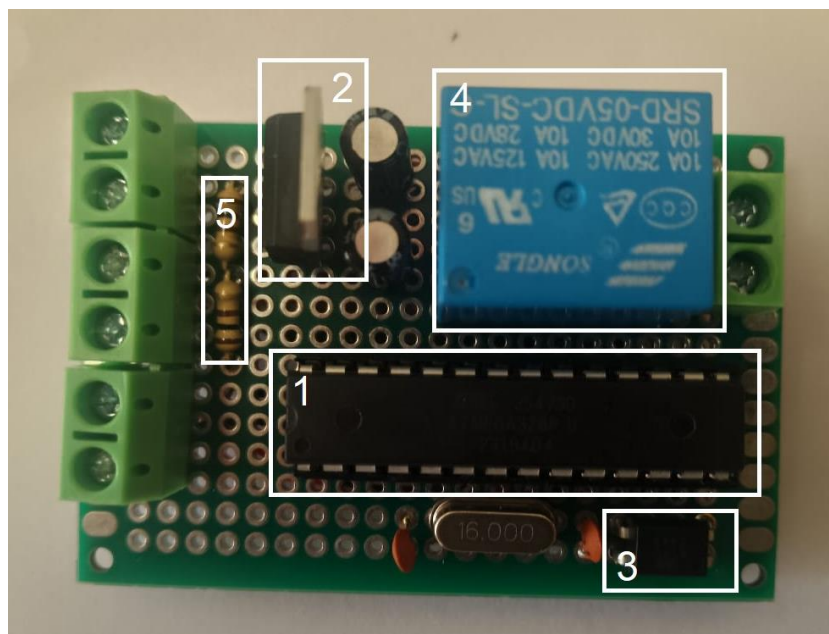


Рис. 4. Прототип устройства идентификации неисправности информационно-измерительного канала частоты оборотов двигателя внутреннего сгорания
Fig. 4. Prototype of a device for identifying a malfunction of the information-measuring channel of the internal combustion engine speed

Для произведения проверки работоспособности к прототипу устройства подключался источник питания АТН-2031, а также цифровой мультиметр ТУ720 Yokogawa для отслеживания замыкания контактов реле и многофункциональный калибратор МС5-R для имитации показаний датчика (рис. 5).

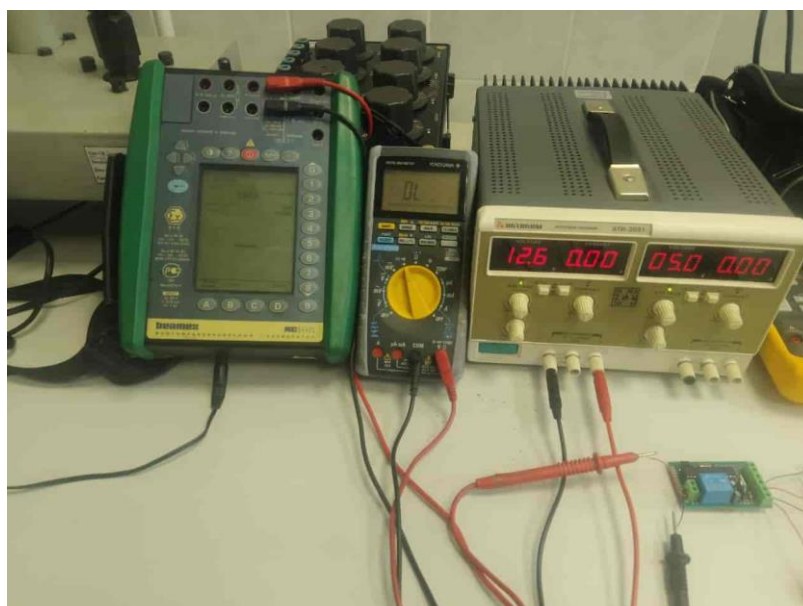


Рис. 5. Проверка работоспособности прототипа
Fig. 5. Testing the prototype's functionality

Параметры времени дискретного импульса индуктивного датчика и входного аналогового сигнала 4-20 мА были настроены на диапазон частоты оборотов от 300 до 900 за одну минуту. В дополнение к этому был реализован учет того, что за один оборот вала двигателя датчик производит один дискретный импульс и длина импульса равняется 1/8 одного оборота вала. Общий вид рассматриваемой системы можно увидеть на рис. 6.

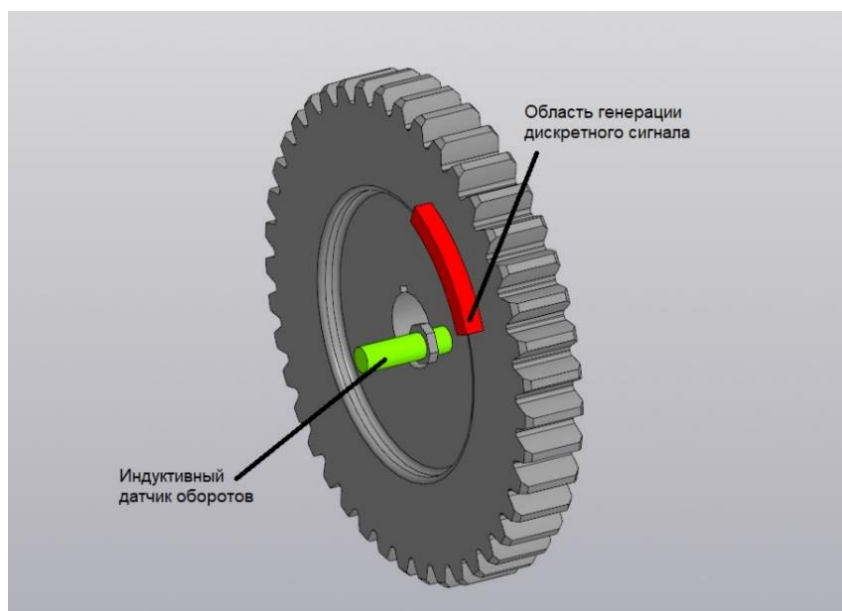


Рис. 6. Общий вид рассматриваемой системы
Fig. 6. General view of the system under consideration

Процедура проведения проверки работоспособности производилась в два этапа. На первом этапе осуществлялась проверка алгоритма для высокочастотного сигнала индуктивного датчика. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты проверки алгоритма для высокочастотного сигнала
Table 1. Results of testing the algorithm for the high-frequency signal

Частота сигнала, Гц	Эквивалентные обороты ДВС, об./мин	Время одного импульса, мс	Обнаружение отказа
4	240	31,25	да
5	300	25	нет
10	600	12,5	нет
15	900	8,3	нет
16	960	7,8125	да

После проведения отладки алгоритма и подтверждения работоспособности устройства микроконтроллер был перепрограммирован на алгоритм анализа аналогового сигнала 4-20 мА для проведения тех же мероприятий (табл. 2).

Таблица 2. Результаты проверки алгоритма аналогового сигнала 4-20 мА
Table 2. Results of testing the 4-20 mA analog signal algorithm

Значение сигнала тока 4-20, мА	Эквивалентные обороты ДВС, об./мин	Напряжение на микроконтроллере, В	Обнаружение отказа
3,5	-28	0,7	да
4	0	0,8	да
8	225	1,6	да
12	450	2,4	нет
16	675	3,2	нет
20	900	4	нет
20,5	928	4,1	да

Из представленных таблиц видно, что устройство реагирует на отклонения показаний частоты оборотов при выходе за определенный диапазон значений для обоих видов сигналов.

Необходимо отметить, что разработанное устройство не может быть применено ко всем типам судовых двигателей внутреннего сгорания без дополнительной настройки. По причине того, что диапазоны допустимых значений частоты вращения коленчатого вала и соответствующие им временные интервалы импульсов существенно варьируют в зависимости от модели двигателя, алгоритм идентификации неисправности должен быть настроен индивидуально для каждого конкретного агрегата.

Кроме того, для применения устройства с использованием унифицированного аналогового сигнала токовой петли 4-20 мА необходимо также внедрять задержку времени с учетом времени запуска агрегата и выхода его на минимальные обороты. Данный алгоритм может быть реализован при помощи дополнительного дискретного входа микроконтроллера.

ОБСУЖДЕНИЕ

Использование такого рода устройств или внедрение дополнительных алгоритмов в систему управления судовым двигателем внутреннего сгорания может иметь определенный ряд преимуществ. Внедрение дополнительных алгоритмов диагностики или автономных устройств контроля состояния информационно-измерительных каналов частоты оборотов в состав систем управления судовыми двигателями внутреннего сгорания позволяет повысить общую надежность энергетической установки.

Одним из ключевых практических эффектов от применения подобных решений является существенное сокращение временных затрат технического персонала на локализацию и устранение неисправностей. В условиях ограниченного времени на диагностику, особенно в морских условиях, когда доступ к береговым ресурсам отсутствует, возможность автоматического выявления аномалий позволяет избежать многочасовых проверок, замеров параметров и последовательного исключения потенциальных источников сбоя. Вместо этого обслуживающий персонал получает четко сформированный сигнал о характере и месте возникновения нарушения, что сокращает время простоя и

минимизирует риск принятия ошибочных решений. Кроме того, внедряя данное устройство появляется возможность интеграции выходного дискретного сигнала устройства в логику управления судовой автоматикой. Такой сигнал может быть использован не только для визуальной или звуковой индикации неисправности, но и для коррекции алгоритмов аварийного реагирования.

Данное устройство имеет ряд основных преимуществ перед существующими подходами для решения поставленной задачи. Предложенный подход отличается дешевизной и, более того, может быть реализован внутри программируемого логического контроллера. Также данное решение будет дешевле, чем установка интеллектуальных датчиков или затраты на вычислительную технику для применения методов машинного обучения. Кроме того, предлагаемое устройство диагностирует проблему на всем протяжении информационно-измерительного канала частоты оборотов, а не только внутри самого датчика. Это позволит диагностировать проблему в более широком диапазоне.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод, что реализация дополнительного уровня диагностики может повысить не только информативность системы управления, но и сформировать более гибкую и адаптивную стратегию реагирования на отказы, что в совокупности способствует увеличению безотказности работы судовой силовой установки, снижению эксплуатационных рисков и оптимизации затрат на техническое обслуживание.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения данной работы была реализована разработка прототипа устройства, предназначенного для автоматизированного выявления аномалий в работе информационно-измерительного канала частоты оборотов судового двигателя внутреннего сгорания.

В ходе выполнения работы проведен анализ типовых отказов датчиков оборотов, а также сформулированы технические требования к устройству диагностики. На основе полученных данных разработаны два алгоритма обработки входных сигналов: первый ориентирован на анализ временных характеристик дискретного импульсного сигнала, формируемого индуктивным датчиком, второй – на оценку уровня унифицированного аналогового сигнала токовой петли 4-20 мА. Оба алгоритма были реализованы в виде программы для микроконтроллера.

Таким образом, результаты исследования демонстрируют практическую реализуемость предложенного подхода к повышению отказоустойчивости судовых двигателей за счет диагностики выходных сигналов информационно-измерительных каналов частоты оборотов. Разработанный прототип может служить основой для решений, ориентированных на модернизацию существующих систем управления, не обладающих достаточной глубиной диагностики в части анализа качества входных сигналов.

Список источников

1. Коновалов, П. О. Опыт развития и применения в эксплуатации систем мониторинга технического состояния судовых ДВС / П. О. Коновалов, А. А. Иванченко, Г. Л. Ларионов. – DOI: 10.18411/trnio-08-2023-246 // Тенденции развития науки и образования. – 2023. – № 100 (5). – С. 102 – 108. – EDN TWWL BX.
2. Kang, Y. J. Hierarchical level fault detection and diagnosis of ship engine systems / Y. J. Kang. – DOI: 10.1016/j.eswa.2022.118814 // Expert Systems with Applications. – 2023. – Vol. 213. – P. 118814.
3. Kougiatsos, N. Distributed cyber-physical framework for sensor fault diagnosis of marine internal combustion engines / N. Kougiatsos, V. A. Reppa. – DOI: 10.1109/TCST.2024.3378992 // IEEE Transactions on Control Systems Technology. – 2024. – Vol. 32. – № 5. – P. 1718–1729.
4. Orhan, M. Literature review and future research agenda on fault detection and diagnosis studies in marine machinery systems / M. Orhan, M. A. Celik. – DOI: 10.1177/14750902221149291 // Journal of Engineering for the Maritime Environment. – 2024. – Vol. 238. – № 1. – P. 3–21.
5. Velasco-Gallego, C. RADIS: A real-time anomaly detection intelligent system for fault diagnosis of marine machinery / C. Velasco-Gallego, I. Lazakis. – DOI: 10.1016/j.eswa.2022.117634 // Expert Systems with Applications. – 2022. – Vol. 204. – P. 117634.
6. Бурков, Д. Е. Применение судовой информационной системы для контроля и мониторинга технического состояния судового оборудования / Д. Е. Бурков. – DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-5-893-902. – EDN PTA EFT // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала Макарова. – 2023. – Т. 15. – № 5. – С. 893–902.
7. Валов, Д. С. Системы управления судовыми энергетическими установками автономных судов / Д. С. Валов, С. А. Валгин. – EDN QGRTJJ // Актуальные исследования. – 2023. – № 5 (135). – С. 19–28.
8. Vrvilo, P. Methods and equipment for analysis and diagnosis of marine engines during navigation / P. Vrvilo. – DOI: 10.1080/15567036.2024.2422568 // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. – 2024. – Vol. 46. – № 1. – P. 15808–15824.
9. Pagonis, D. N. Sensors and Measurement Systems for Marine Engineering Applications / D. N. Pagonis. – DOI: 10.3390/app14093761 // Applied Sciences. – 2024. – Vol. 14. – № 9. – P. 3761.
10. Kim, D. Explainable anomaly detection framework for maritime main engine sensor data / D. Kim. – DOI: 10.3390/s21155200 // Sensors. – 2021. – Vol. 21. – № 15. – P. 5200.
11. Liu, B. Research on fault early warning of marine diesel engine based on CNN-BiGRU / B. Liu. – DOI: 10.3390/jmse11010056 // Journal of Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 11. – № 1. – P. 56.
12. Jovanović, I. Combined Fault Tree Analysis and Bayesian Network for Reliability Assessment of Marine Internal Combustion Engine / I. Jovanović. – DOI: 10.1007/s11804-025-00692-7 // Journal of Marine Science and Application. – 2023. – №. 2 – P. 1–20.

13. Jombo, G. Sensor Fault Detection and Diagnosis: Methods and Challenges / G. Jombo, E. Zhang, N. Lu // Proceedings of the 12th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Processes (Ferrara, 4–7 June 2024) / IFAC SAFEPROCESS. – 2024.
14. Self-Detection and Self-Diagnosis Methods for Sensors in Intelligent Integrated Sensing System / M. Zhu, J. Li, W. Wang, D. Chen. – DOI: 10.1109/JSEN.2021.3090990 // IEEE Sensors Journal. – 2021. – Vol. 21, № 17. – P. 19247–19254.
15. Sana, U. A distributed sensor-fault detection and diagnosis framework using machine learning / U. Sana, L. Young, S. Koo. – DOI: 10.1016/j.ins.2020.08.068 // Information Sciences. – 2021. – Vol. 547. – P. 777–796.

References

1. Konovalov, P. O. Experience in the Development and Application of Systems for Monitoring the Technical Condition of Marine Internal Combustion Engines / P. O. Konovalov, A. A. Ivanchenko, G. L. Larionov. – DOI: 10.18411/trnio-08-2023-246. – EDN TWVLBX // Trends in the Development of Science and Education. – 2023. – № 100 – (5). – P. 102–108.
2. Kang, Y. J. Hierarchical Level Fault Detection and Diagnosis of Ship Engine Systems / Y. J. Kang. – DOI: 10.1016/j.eswa.2022.118814 // Expert Systems with Applications. – 2023. – Vol. 213. – P. 118814.
3. Kougiatsos, N. Distributed Cyber-Physical Framework for Sensor Fault Diagnosis of Marine Internal Combustion Engines / N. Kougiatsos, V. A. Reppa. – DOI: 10.1109/TCST.2024.3378992 // IEEE Transactions on Control Systems Technology. – 2024. – Vol. 32. – № 5. – P. 1718–1729.
4. Orhan, M. Literature review and future research agenda on fault detection and diagnosis studies in marine machinery systems / M. Orhan, M. A. Celik. – DOI: 10.1177/14750902221149291 // Journal of Engineering for the Maritime Environment. – 2024. – Vol. 238. – № 1. – P. 3–21.
5. Velasco-Gallego, C. RADIS: A real-time anomaly detection intelligent system for fault diagnosis of marine machinery / C. Velasco-Gallego, I. Lazakis. – DOI: 10.1016/j.eswa.2022.117634 // Expert Systems with Applications. – 2022. – Vol. 204. – P. 117634.
6. Burkov, D. E. Application of a shipboard information system for monitoring and controlling the technical condition of shipboard equipment / D. E. Burkov. – DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-5-893-902. – EDN PTAEFT // Bulletin of the Admiral Makarov State University of Maritime and River Fleet. – 2023. – V. 15. – № 5. – P. 893–902.
7. Valov, D. S. Control systems for marine power plants of autonomous vessels / D. S. Valov, S. A. Valgin. – EDN QGRTJJ // Current research. – 2023. – № 5 (135). – P. 19–28.
8. Vrvilo, P. Methods and equipment for analysis and diagnosis of marine engines during navigation / P. Vrvilo. – DOI: 10.1080/15567036.2024.2422568 // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. – 2024. – Vol. 46. – № 1. – P. 15808–15824.

9. Pagonis, D. N. Sensors and Measurement Systems for Marine Engineering Applications / D. N. Paganis. – DOI: 10.3390/app14093761 // Applied Sciences. – 2024. – Vol. 14. – № 9. – P. 3761.
10. Kim, D. Explainable anomaly detection framework for maritime main engine sensor data / D. Kim. – DOI: 10.3390/s21155200 // Sensors. – 2021. – Vol. 21. – № 15. – P. 5200.
11. Liu, B. Research on fault early warning of marine diesel engine based on CNN-BiGRU / B. Liu. – DOI: 10.3390/jmse11010056 // Journal of Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 11. – № 1. – P. 56.
12. Jovanović, I. Combined Fault Tree Analysis and Bayesian Network for Reliability Assessment of Marine Internal Combustion Engine / I. Jovanović. – DOI: 10.1007/s11804-025-00692-7 // Journal of Marine Science and Application. – 2023. – № 2 – P. 1–20.
13. Jombo, G. Sensor Fault Detection and Diagnosis: Methods and Challenges / G. Jombo, E. Zhang, N. Lu // Proceedings of the 12th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Processes (Ferrara, 4–7 June 2024) / IFAC SAFEPROCESS. – 2024.
14. Self-Detection and Self-Diagnosis Methods for Sensors in Intelligent Integrated Sensing System / M. Zhu, J. Li, W. Wang, D. Chen. – DOI: 10.1109/JSEN.2021.3090990 // IEEE Sensors Journal. – 2021. – Vol. 21, № 17. – P. 19247–19254.
15. Sana, U. A distributed sensor-fault detection and diagnosis framework using machine learning / U. Sana, L. Young, S. Koo – DOI 10.1016/j.ins.2020.08.068 // Information Sciences. – 2021. – Vol. 547. – P. 777–796.

Информация об авторах

А. А. Житников – аспирант кафедры «Системы управления»

А. А. Марченко – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Системы управления»

Information about the authors

A. A. Zhitnikov – Postgraduate student of the Department of Control Systems

A. A. Marchenko – Candidate of Technical sciences, Associate Professor, Head of the Department of Control Systems

Вклад авторов

А. А. Житников – идея, сбор материала, обработка материала и написание статьи

А. А. Марченко – научное редактирование текста и научное руководство

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

A. A. Zhitnikov – idea, collection of material, processing of material, and writing of the article

A. A. Marchenko – scientific editing of the text and scientific supervision

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 15.11.2025; одобрена после рецензирования 25.11.2025; принята к публикации 03.12.2025.

The article was submitted 15.11.2025; approved after reviewing 25.11.2025; accepted for publication 03.12.2025.