

УДК 621.43.068

## ОПЫТ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДИЗЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК СУДОВ

**Иванченко Александр Андреевич<sup>1</sup>**, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой ДВС и АСЭУ

e-mail: [prof\\_ivanchenko@mail.ru](mailto:prof_ivanchenko@mail.ru)

**Бурков Дмитрий Евгеньевич<sup>1</sup>**, морской инженер, старший преподаватель кафедры ДВС и АСЭУ

e-mail: [deburkov@gmail.com](mailto:deburkov@gmail.com)

**Коновалов Петр Олегович<sup>1</sup>**, специалист, аспирант кафедры ДВС и АСЭУ

e-mail: [conowalov.petr2000@mail.ru](mailto:conowalov.petr2000@mail.ru)

<sup>1</sup> Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация.** Противоречие между увеличением сложности судовых дизельных установок и уменьшением численности экипажей судов потребовало внедрения на флоте новых подходов к их комплектации и технической эксплуатации. Возможность реализации такого подхода на судах позволило применение микропроцессорных систем управления с функцией контроля и мониторинга технического состояния. Правовые основы его применения обеспечило принятия МАКО резолюций Z-20 и Z-27 и их отражение в Правилах всех классификационных обществ. Для его практической реализации потребовалось оснащения судов электронными машинными журналами, а также разработка и внедрение информационных технологий для обработки данных контроля в форме, позволяющей осуществлять оценку правильности функционирования сборочных единиц и определять их техническое состояние без его разборки.

**Ключевые слова:** дизельная установка, автоматизация, цифровые приборы, интеграция данных, анализ данных, мониторинг технического состояния.

## EXPERIENCE IN USING SYSTEMS FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF SHIP DIESEL PLANTS

**Alexander A. Ivanchenko<sup>1</sup>**, Professor, Doctor of Engineering Sciences, Head of the Department of Internal Combustion Engines and Automatic Power Supply

e-mail: [prof\\_ivanchenko@mail.ru](mailto:prof_ivanchenko@mail.ru)

**Dmitry E. Burkov<sup>1</sup>**, Marine Engineer, Senior Lecturer of the Department of Internal Combustion Engines and Automatic Power Supply

e-mail: [deburkov@gmail.com](mailto:deburkov@gmail.com)

**Petr O. Kononov<sup>1</sup>**, Specialist, Doctoral student of the Department of Internal Combustion Engines and Automatic Power Supply

e-mail: [conowalov.petr2000@mail.ru](mailto:conowalov.petr2000@mail.ru)

**Abstract.** The contradiction between the increasing complexity of marine diesel installations and the reduction in the number of ship crews required the introduction of new approaches to their assembly and technical operation in the fleet. The possibility of implementing such an approach on ships was made possible by the use of microprocessor control systems with the function of control and monitoring of the technical condition. The legal basis for its application was provided by the adoption of IACS resolutions Z-20 and Z-27 and their reflection in the Rules of all classification societies. Its practical implementation required equipping ships with electronic machine logs, as well as the development and implementation of information technologies for processing control data in a form that allows for an assessment of the correct functioning of assembly units and determining their technical condition without disassembling them.

**Keywords:** diesel plant, automation, digital instruments, data integration, data analysis, technical condition monitoring.

### Введение

Современные микропроцессорные системы автоматизации, включающие в себя информационные системы обработки массивов данных о ходе технологических процессов, по сути, стали «кровеносной системой» большинства промышленных отраслей - от машиностроения и нефтегазовой отраслей до объектов энергетики и транспорта. Рассматриваемые технологические решения в полном смысле слова изменили логику систем автоматизации и производственные циклы, помогая предприятиям существенно снижать издержки, существенно повышать управляемость процессами и ресурсами. Важная роль в инновационной архитектуре современной автоматизации отводится своевременной и достоверной информации о техническом состоянии (ТС) оборудования [2]. Выступая своего рода «чувствительными сенсорами» сложных сборочных единиц, приборы контроля за работой оборудования, стали не просто «снимать» и хранить показания, а формировать глубокую аналитическую базу и тем самым давать возможность техническим специалистам обеспечивать точный мониторинг, предотвращать аварийные ситуации, минимизировать риски отказов и совершенствовать управление сложными техническими системами [1].

Рынок рассматриваемых технологий отреагировал и на сформировавшееся в 80-х годах предыдущего столетия противоречие между увеличением сложности судовых дизельных установок (СДУ) и уменьшением численности экипажей судов. В результате были разработаны и внедрены на флоте новые подходы к комплектации и технической эксплуатации СДУ. Возможность реализации такого подхода на судах позволило внедрение на флоте микропроцессорных систем управления (МПСУ) СДУ с функцией дистанционного контроля (ДК) и мониторинга технического состояния (МТС). Правовые основы его применения обеспечило принятия МАКО резолюций Z-20 и Z-27 и их отображение в Правилах всех классификационных обществ (КО).

Наглядно рост уровня контролируемых процессов в СДУ и тенденции изменения уровня их автоматизации представлены на рис. 1 [7].





Рисунок 1 – Тенденции изменения уровня автоматизации и контроля СДУ за последние годы

Внедрение на судах электронных машинных журналов на базе персональных компьютеров (ПК), применение цифровых приборов (ЦП) для контроля за работой судового оборудования (СО), разработка информационных систем (ИС), позволили осуществлять идентификацию правильности функционирования всех сборочных единиц (СЕ) СДУ в эксплуатации и определять их ТС без разборки оборудования, осуществлять прогноз его изменения [3]. Это позволяет принять профилактические меры заранее, когда поломка ещё не стала катастрофической, а ремонт - не превратился в дорогое и длительное мероприятие [4]. Благодаря детализированным данным о работе СО стало возможным судоходным компаниям (СК) перейти к более логичной стратегии технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) судов, от примитивного реагирования - к предиктивному и профилактическому сервису, что ведет к уменьшению простоев, продлению ресурса оборудования и выравниванию пиковых нагрузок по цилиндрам на каждой СДУ. Рассмотренные примеры - лишь верхушка айсберга, иллюстрирующая, насколько важной может быть роль ЦП и ИТ в современных экономических условиях [2].

### Особенности развития и опыт применении СМПСУ с функциями ДК и МТС

Стремительное развитие судовых МПСУ, в которых реализована функция ДК и МТС всех СЕ в настоящее время нашло применение у ведущих производителей современных судовых дизельных двигателей. Оборудуя выпускаемые двигатели такого рода МПСУ, они возложили на них не только задачу управления, но и задачи ДК параметров работы наиболее важных СЕ, сигнализации об выходе их параметров работы за установленные пределы, а также накапливание информации для отслеживания СК изменения параметров и МТС СЕ во времени. Это такие ИС как «Wartsila – система RCOM», «MAN Diesel & Turbo SE – система Co CoS», «Caterpillar МАК – система DICARE» и другие. В указанных ИС сбор и обработка информации осуществляется в автоматическом режиме (АР), а в ряде разработок на микропроцессор также возложена и функция управления процессами подачи топлива в целях оптимизации рабочего процесса (РП) двигателя на режимах эксплуатации.

Концепция судовых МПСУ, реализуемая фирмой «Wartsila» обеспечивает СК соответственно программой управления ТО и Р 2-х и 4-х тактных ДВС: «RCOM-CBM–Condition Based Maintenance» и «Wartsila Engine Control System») [8]. По своей идеологии ИТ положенные в основу и одной и другой МПСУ идентичны. И одна и другая нацелены на ТО и Р «по состоянию», собирают и обрабатывают ежедневно поступающие данные ДК за работой СЕ двигателя, осуществляя их «нормализацию» - приведение к стандартным внешним условия.

Причем в МПСУ 4-х тактных ДВС используются автоматизированные комплексы ДК ТС – WECS. По желанию СК поставляемая на судно МПСУ включает систему FAKS (Fault Avoidance Knowledge System), программное обеспечение (ПО) которой включает в себя функцию предупреждения поломок, МТС с отслеживанием тренда его изменения и формирования рекомендаций по корректировке сроков ТО и Р.

Реализации рассматриваемой ИТ предшествовал анализ серьезных аварий с отказом СДУ и ее СЕ, который показал, что задолго до отказа существует возможность по изменяющемуся тренду ДК параметров работы СЕ предупредить деградацию состояния СДУ и ее СЕ и, тем самым, предупредить следующий за изменением данных ДК параметров аварийный отказ, а также системный анализ доступной информации с привлечением экспертов и созданием единой базы данных по конкретным судам и установленным на них ДВС с данными их стендовых, данными рабочих характеристик в ходе ходовых испытаний и данными рабочих характеристик двигателя, фиксируемым на протяжении всей его последующей эксплуатации (datalog). Накопленный компанией опыт сервисного обслуживания большого количества одинаковых ДВС показал, что стоимость ТО и Р и надежность работы каждого из них отличаются. Это объясняется различием условий, в которых происходит эксплуатация СДУ. Существенное влияние на рассматриваемые факторы при эксплуатации СДУ оказывают применяемые топлива и смазочные масла, используемые запасные части, а также уровень повседневного ТО и Р.

Важным является то, что ИС осуществляет прогноз на основе МТС, когда поломка (отказ) еще не произошла, но измерения показывают, что СЕ СДУ работают не оптимальным образом и надвигается критическая ситуация. ИС сбора информации постоянно пополняется данными, фиксируемыми МПСУ и автоматического ДК за работой ДВС, и вносимыми вручную судовыми механиками путем занесения данных в ПК. Совместная обработка материалов экспертной системы и системы сбора информации позволяет сервисным специалистам фирмы в автоматическом режиме выработать заключения по ТС каждого конкретного двигателя. В целях систематизации и повышения эффективности ИС специалистами фирмы, разработаны специальные формы для вноса результатов ДК и оценки ТС наиболее важных элементов: деталей ЦПГ (поршней, сальников поршневых штоков, поршневых колец, втулок цилиндров) КШМ (приводов, коленчатого вала, демпферов, подшипники и т.п.), механизмов газораспределения (воздуховодов, систем продувки, распределительного вала и клапанов и др. элементов), показателей сгорания, топливной аппаратуры, системы управления, а также сведения о состоянии других важных компонентов двигателя. Опыт показывает, что использование шаблонов и ПК существенно сокращает бумажные отчеты, зачастую перегружающих обслуживающий персонал.

Аналогичную ИС, предлагает рынку компания MAN Diesel & Turbo SE - Computer Controlled Surveillance – Engine diagnostics system (Sa CoS<sub>one</sub>). В ней помимо постоянного ДК рабочих параметров СДУ (температура отработавших газов, давление в рабочем цилиндре и т.д.) и МТС производится корректировка РП. Воспринимаемые дискретные сигналы ЦП, термопар и пьезоэлектрических датчиков, оцифровываются и посредством программно - логического аппарата через органы управления изменяют соотношение





топливо/воздух и т.п. Помимо всего ИС Sa CoS<sub>one</sub> посредством соединения с Internet в режиме реального времени передает собранные с СДУ, его систем и СЕ данные заводу производителю, обеспечивая тем самым постоянный доступ ко всей информации сервисной службе, а так же обеспечивает доступ к статистическим данным по ДВС специалистам СК и инженерам-конструкторам для его дальнейшего совершенствования.

Помимо традиционного управления РП двигателя ПО системы Sa CoS<sub>one</sub> позволяет собирать и хранить в блоке памяти Databox данные, полученные с различных датчиков и ЦП, установленных на СДУ. Из блока памяти системы Co CoS-EDS эти данные могут быть доступны, как для подразделений сервисной поддержки производителя, так и специалистов СК для планирования ТО и Р. Ее ПО разработано специально для наблюдения за СДУ, оценки ее эффективности и диагностики неисправностей и имеет удобный интерфейс [9]. ПО системы Co CoS Maintenance позволяет снизить затраты на эксплуатацию СДУ за счет улучшения планирования и оптимизации процедур и сроков ТО и Р.

ИС Co CoS Maintenance — это многопользовательская ИС с удобным интерфейсом, позволяющая различным пользователям планировать, выполнять и сообщать о различных задачах ТО и Р [10]. В ее основные функции входит: эффективно планировать профилактические и корректирующие работы; планировать ТО и Р на основе условий; создание комплексных заказов на работу; распределение и использование ресурсов отчета; управление ЗИП; обработка эксплуатационной документации, требуемой КО. Система удаленного доступа позволяет производителям напрямую подключаться к системе управления ДВС, производить ДК и МТС в режиме реального времени, осуществлять контроль состояния самой системы управления, а также дистанционно корректировать работу отдельных модулей ИС. Для защиты канала связи между производителем и судном в системе используется двухсторонний Firewall, а также применяется технология VPN (Virtual Private Network - виртуальная частная сеть).

На основании данных из системы удаленного доступа в конце каждого месяца для каждого двигателя формируются специальные отчеты, которые включают в себя: наработку двигателя за месяц, контроль нагрузки двигателя, обороты двигателя, обороты турбокомпрессора (ТК), давление охлаждающей воды, важные замечания от производителя, а также рекомендации по эксплуатации [11].

По своей идеологии все рассмотренные системы ТО и Р по состоянию на 4-х и 2-х - тактных двигателей идентичны и позволяют оптимизировать баланс между увеличенными сроками ТО и Р, сокращением расходов на запасные части и высокой надежностью ДВС в эксплуатации. Накопленный опыт расследования аварий СДУ показал, что их отказ можно предотвратить задолго до поломки СЕ по изменяющейся величине ДК контролируемых параметров двигателя и деградации тренда изменения ТС. Не смотря на универсальность, внедрение рассматриваемых судовых МПСУ порождает целый ряд новых технологических задач. На первый план выходят эффективные технологии связи нового поколения, например - 5G, гарантирующие моментальный отклик систем и готовый к анализу данных в режиме реального времени [5]. Объём и разнородность данных требуют применения современных аналитических инструментов и алгоритмов машинного обучения. Кроме того, вставшие в последнее время вопросы кибербезопасности выдвигают их также в число крайне важных, поскольку доступ к эксплуатационным и экономическим данным требует надежной и строй защиты.

Не менее важным является создание систем, способных к масштабированию и адаптации регулировочных параметров под меняющиеся условия. Особенно указанное важно для СДУ, процесс управления которыми непрерывно усложняется, количество контролируемых данных растёт лавинообразно, а требования к МПСУ модернизируются вместе с темпами индустриального развития. Именно поэтому микропроцессорные





выполнить интеграцию своей платформы управления судном на основе цифрового двойника в СПГ – газовоз NEW APEX грузовместимостью 174 000 м<sup>3</sup>, строящегося компанией Pan Ocean. Реализуемая таким образом система управления судном на основе ИИ предназначена для анализа навигационных данных в режиме реального времени и обеспечивает управление и ТО всех систем судна, позволяя добиваться максимальной экономии затрат при эксплуатации судна (ОРЕХ). После демонстрации платформы обе компании планируют продолжить сотрудничество с целью расширения применения МПСУ на основе цифровых решений для реализации автономного судоходства.

В последние годы CCS ускоряет процесс цифровой трансформации в соответствии с общей тенденцией цифрового и интеллектуального развития судов. CCS осуществляется активное содействие созданию сервиса цифрового освидетельствования, используются результаты передовых теоретических исследований в качестве базы для осуществления технологического прорыва и проведения практических исследований в области технологий обеспечения безопасности, постепенно создаются новые возможности для предоставления услуг по обеспечению безопасности в морской отрасли на фоне всеобщей цифровизации. Разработки включают следующие направления применения цифровых методов [12]:

- исследования надежности судового оборудования;
- оценки надежности судовых коммуникаций;
- оценки надежности судового ИИ;
- управления безопасностью судна.

Согласно развиваемой концепции обследование корпуса судна, находящегося в эксплуатации, предусматривает его общий осмотр, дефектоскопию и толщинометрию, позволяющие оценить общее состояние конструкции корпуса, состояние покрытия и дефекты конструкции, в т. ч. коррозионные. По сравнению с традиционными методами обследования конструкции корпуса судна, имеющим такие недостатки, как большой объем протоколов, отчетов и т. п., большое неудобно их использовать в дальнейшем, высокую стоимость, низкую эффективность и высокую вероятность ошибки, создаваемая CCS система предусматривает для решения этих проблем переход к цифровому обследованию корпусных конструкций находящихся в эксплуатации судов в соответствии со следующим алгоритмом [12]:

- сбор данных для цифровой съемки конструкции корпуса судна;
- диагностика конструктивных дефектов корпуса судна на основе технологии распознавания изображений;
- оценка состояния корпуса судна на основе 3D-модели.

### Заключение

Созданные на основе ИИ современные судовые МПСУ с функциями ДК и МТС современных СДУ представляют собой перспективное направление развития судовой энергетики. Необходимость и целесообразность их разработки и внедрения обуславливается усложнением конструкции перспективных СДУ, сопровождаемого сокращением численности экипажа. Они могут развиваться только в комплексе с развитием и внедрением комплексных систем управления на основе ИИ, организацией эксплуатации ТО и Р на основе ДК и МТС, обеспечения дальнейшего увеличения уровня общения и обмена информацией между судовым персоналом, судовладельцем и заводом-изготовителем СДУ, их двигателей и других сборочных единиц. Важным элементом создаваемых МПСУ на основе ИИ является расширение функций дистанционной технической поддержки персонала СК в режиме реального времени, направленных на оптимизацию периодов ТО и Р, уменьшение затрат при эксплуатации и ремонте СДУ за



счет исключения преждевременных выводов дизеля из работы и своевременного предупреждения серьезных поломок.

### Список литературы

1. Бувалый Г.Е., Завершинский В.С. Методы построения систем мониторинга и диагностики оборудования и средств автоматизации газовых промыслов с учетом требований нормативной документации ПАО «Газпром» // Вестник ПАО «Газпром». — 2023. - № 4. - С. 45–52. - URL: [https://cyberleninka.ru/article/n/metody-postroeniya-sistem-monitoringa-i-dagnostiki-oborudovaniya-i-sredstv-avtomatizatsii-gazovyh-promyslov-s-uchetom-trebovaniy?utm\\_source=chatgpt.com](https://cyberleninka.ru/article/n/metody-postroeniya-sistem-monitoringa-i-dagnostiki-oborudovaniya-i-sredstv-avtomatizatsii-gazovyh-promyslov-s-uchetom-trebovaniy?utm_source=chatgpt.com) (дата обращения: 11.12.2024).
2. Шумкин А.В., Жуков Д.В., Агапов А.Ю., Демина В.В. Направления импортозамещения контрольно-измерительных приборов и автоматики в нефтегазовой отрасли на примере системы «Вибротекс» // Современные наукоемкие технологии. — 2023. — № 8. — С. 123–130. — URL: [https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=39736&utm\\_source=chatgpt.com](https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=39736&utm_source=chatgpt.com) (дата обращения: 11.12.2024).
3. Правила наблюдения за судами в эксплуатации. СПб, РМПС. 2025г. с. 600
4. ГОСТ Р ИСО 18435-1-2012. Системы промышленной автоматизации и интеграция. Интеграция приложений для диагностики, оценки возможностей и технического обслуживания. Часть 1. Обзор и общие требования: национальный стандарт Российской Федерации. -Введ. 2012-07-01. - М.: Стандартинформ, 2012. - 64 с.
5. М Ю. Егоров, А В. Антипина, Н Б. Демидова, М В. Макарова, С С. Прошкин, Е Л. Рыжова, О А. Шарая Применение автоматизированных систем с целью повышения качества метрологического обеспечения средств измерений // ИВД. 2024. №9 (117). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-avtomatizirovannyh-sistem-s-tselyu-povysheniya-kachestva-metrologicheskogo-obespecheniya-sredstv-izmereniy> (дата обращения: 11.12.2024).
6. Интеграция полевых устройств в системы автоматизации производств (Язык описания электронных устройств EDDL) [Электронный ресурс] // Хабр. — 2023. URL: <https://habr.com/ru/articles/734874/> (дата обращения: 10.12.2024).
7. Sa CoSone. The future of Engine Automation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://primeserv.man-es.com/docs/librariesprovider5/primeserv-documents/man-sacosone.pdf?sfvrsn=12> (дата обращения: 16.10.2018).
8. RT-flex training. Function of the RT-flex control system WECS-9520. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://hmstc.or.kr/file/BBS1/40\\_RT-flex\\_Control-System%20Rev01.pdf](http://hmstc.or.kr/file/BBS1/40_RT-flex_Control-System%20Rev01.pdf) (дата обращения: 16.10.2018).
9. CoCoS EDS. Engine diagnostics system, off-line version. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mandieselturbo.com/docs/default-source/shopwaredocuments/cocos-eds.pdf?sfvrsn=3> (дата обращения: 16.10.2018).
10. CoCoS Maintenance. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://engine.od.ua/ufiles/CoCoS\\_Maintenance\\_www.engine.od.ua.pdf](http://engine.od.ua/ufiles/CoCoS_Maintenance_www.engine.od.ua.pdf) (дата обращения: 16.10.2018).
11. Online Service. More safety for your engines. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://primeserv.man-es.com/docs/librariesprovider5/Online\\_Service/online-service.pdf?sfvrsn=12](https://primeserv.man-es.com/docs/librariesprovider5/Online_Service/online-service.pdf?sfvrsn=12) (дата обращения: 16.10.2018).
12. Новости зарубежных предприятий судостроительной отрасли. Дайджест РС 2024, - с. 12

