

УДК 629.12.004.67

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ И СТАЦИОНАРНЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ И КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Бурков Дмитрий Евгеньевич¹, аспирант, старший преподаватель

e-mail: deburkov@gmail.com

Иванченко Александр Андреевич¹, д.т.н, профессор, заведующий кафедрой ДВС и Автоматики СЭУ

e-mail: prof_ivanchenko@mail.ru

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

Аннотация. В статье обобщен практический опыт применения мобильных и стационарных средств диагностики технического состояния судовых дизельных установок. Особое внимание уделено интегральным информационным системам мониторинга (VPMS) российского и зарубежного производства. Показано, что наиболее эффективным является комбинированный подход, сочетающий использование стационарных и мобильных средств диагностики судового оборудования. Сделан вывод о необходимости перехода к обслуживанию судовых дизелей по фактическому техническому состоянию.

Ключевые слова: судовые информационные системы, судовые энергетические установки, диагностика и мониторинг технического состояния, предиктивное обслуживание.

EXPERIENCE OF USING MOBILE AND STATIONARY DIAGNOSTIC AND CONDITION MONITORING SYSTEM FOR MARINE DIESEL ENGINES

Dmitry E. Burkov¹, Doctoral Student, Senior Lecturer

e-mail: deburkov@gmail.com

Aleksandr A. Ivanchenko¹, P.h.D., Professor, Head of the Department of Internal Combustion Engines and Automation of the Power Plant

e-mail: prof_ivanchenko@mail.ru

¹ Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Saint Petersburg, Russia

Abstract. The article summarizes practical experience in the application of mobile and stationary diagnostic tools for monitoring the technical condition of marine diesel installations. Particular attention is paid to integrated vessel performance monitoring systems (VPMS) of both Russian and foreign origin. It is shown that the most effective solution is a combined approach that integrates the use of stationary and mobile diagnostic tools for ship equipment. The authors conclude that it is necessary to transition to the maintenance of marine diesel engines based on their actual technical condition.

Keywords: ship's information system, ship diesel engine, diagnostics, monitoring system, technical condition, predictive maintenance, VPMS.

В быстро развивающейся морской отрасли обеспечение высокой надежности и оптимальной производительности судовых дизельных установок является одной из ключевых задач. Современные системы мониторинга и диагностики двигателей открывают новые возможности, обеспечивая сбор и анализ данных в режиме реального времени. Это способствует повышению эксплуатационной эффективности и безопасности судоходства. Такие системы позволяют не только своевременно выявлять потенциальные неисправности, но и рационально планировать техническое обслуживание, сокращать непроизводительные простои судов, вести учет и контролировать расход горюче-смазочных.

В последние годы в Правила всех ведущих Классификационных Обществ уже введены системы освидетельствования судов на основе планово-предупредительной схемы технического обслуживания (Planned Maintenance Scheme - PMS), интегрированной с системой мониторинга состояния (Condition Monitoring - CM). Унифицированное требование МАКО YTZ20 (бывшее M55) «Схема планово-предупредительного техобслуживания механизмов (СППТ/PMS) определяет основные положения освидетельствований с использованием систем мониторинга состояния

Российский Морской Регистр Судоходства имеет богатый опыт наблюдения за судами в эксплуатации и введение в практику его деятельности возможностей использования достоверных показаний встроенных систем и переносных средств диагностирования и неразрушающего контроля технического состояния судовых механизмов при освидетельствовании судов позволяет поднять эту деятельность на качественно новый уровень.

Такой подход к освидетельствованию судов оказывается весьма выгодным для Классификационного Общества и судовладельцев по следующим основаниям:

- Классификационное общество способствует внедрению в судоходных компаниях новой более прогрессивной системы технической эксплуатации флота, обеспечивающей более высокую культуру обслуживания объектов, наблюдаемых Регистром;
- Классификационное общество способствует появлению заинтересованности судовладельцев в строительстве новых судов с более современным оборудованием и системами автоматизации и диагностики, позволяющими обеспечивать более качественную их эксплуатацию с сокращенной численностью судовых экипажей и гораздо более низкими расходами на техническое обслуживание;
- Классификационное общество способствует снижению роли человеческого фактора как при эксплуатации объектов надзора так при наблюдении за ними, согласовывая объем контроля на стадии внедрения судовладельцем системы и получая данные о техническом состоянии рассматриваемых объектов в динамике его изменения;
- Классификационное общество получает данные контроля технического состояния, дающие более объективную информацию о фактическом состоянии объектов надзора на протяжении периодов эксплуатации между ежегодными освидетельствованиями, что позволяет, при условии приемлемого технического состояния объектов надзора, проводить их очередные освидетельствования без разборки;
- Классификационное общество предоставляет судовладельцу возможность на основании результатов контроля технического состояния вносить изменения в сроки выполнения работ по техническому обслуживанию, избегая преждевременных разборок механизмов или предупреждая на ранней стадии появления отказов.



В тоже время для обеспечения проведения контроля технического состояния объектов надзора в Правилах освидетельствования судов в эксплуатации должны быть введены дополнения, содержащие соответствующие пояснения и требования к системам мониторинга. В основном эти требования носят общий характер и определяют методы и средства контроля состояния различных видов механизмов механической установки.

Современные системы мониторинга позволяют значительно расширить возможности контроля и перейти от периодических освидетельствований к непрерывному наблюдению за состоянием оборудования. Они обеспечивают мгновенное оповещение об отклонении рабочих параметров двигателя от нормы. Это позволяет экипажу оперативно реагировать и предотвращать серьезные поломки и аварийные ситуации. Благодаря встроенным диагностическим функциям системы способны выявлять скрытые проблемы на ранних стадиях, что значительно снижает риск возникновения опасных инцидентов. Кроме того, они формируют подробные отчеты, упрощающие прохождение проверок надзорных органов и обеспечивающие полное соответствие требованиям безопасности.

Ведущие мировые производители судовых дизелей, такие как MAN Energy Solutions и Wärtsilä, активно используют встроенные системы мониторинга. MAN B&W предлагает фирменную систему CoCoS EDS (Engine Diagnostic System), которая обеспечивает непрерывный контроль до 80 параметров работы двигателя, анализ трендов, раннюю диагностику неисправностей и выдачу рекомендаций механику. В общих чертах рассмотренные системы представлены на рисунках 1 и 2.

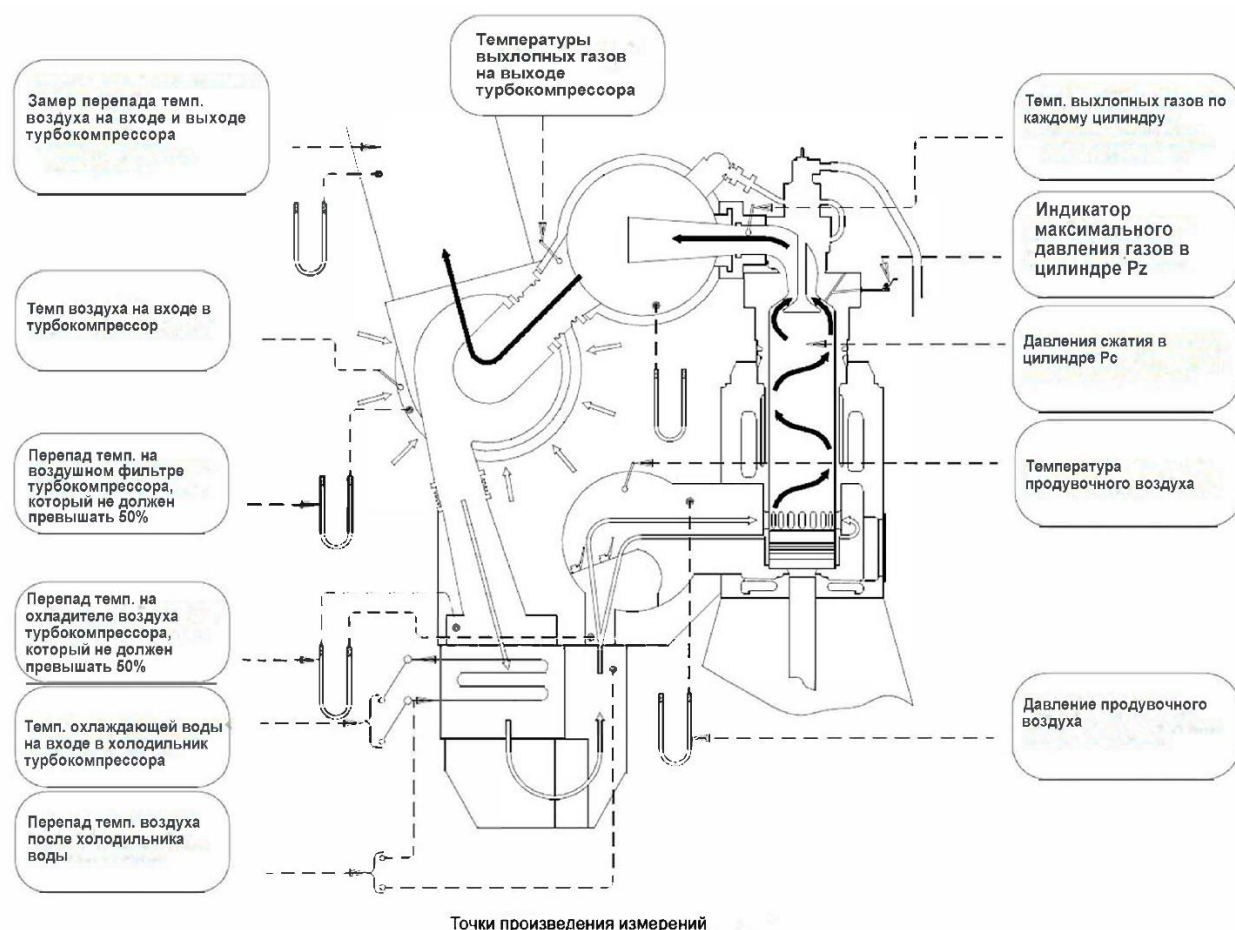


Рисунок 1 – Точки производства измерений ГД MAN 5S50ME-B

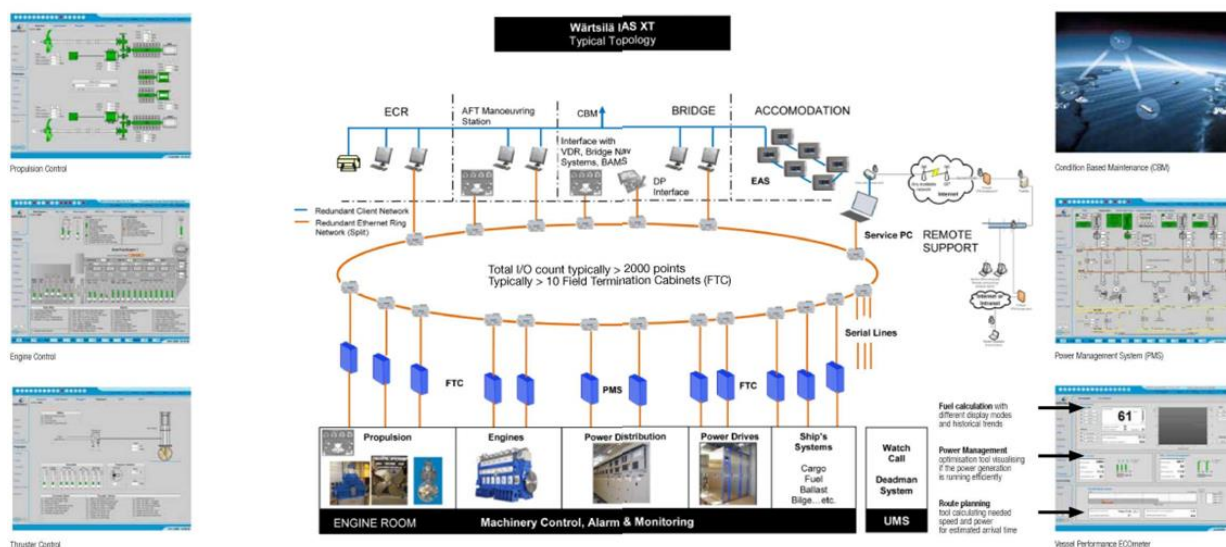


Рисунок 2 – Принципиальная схема системы Wärtsilä Engine Control System

Wärtsilä в свою очередь внедряет комплексную систему Wärtsilä Integrated Automation System (WIAS) и Wärtsilä Engine Control System, которая позволяют осуществлять глубокий мониторинг рабочего процесса, контроль вибрации, температуры и давления, а также прогнозировать остаточный ресурс ключевых узлов.

Помимо них, такие компании как Caterpillar (МАК), Rolls-Royce и Hyundai Heavy Industries также оснащают свои двигатели современными системами мониторинга и диагностики, интегрированными с общесудовыми системами автоматизации.

Обобщая накопленный опыт, можно сделать вывод, что фирменные системы мониторинга MAN и Wärtsilä значительно повышают надежность эксплуатации, сокращают риск внезапных отказов и создают основу для перехода от планово-предупредительного обслуживания к обслуживанию по фактическому техническому состоянию. Вместе с тем, их основным ограничением остается жесткая привязка к двигателям конкретного производителя, что существенно снижает универсальность применения на флоте смешанного состава.

Также следует отметить, что производители дизелей оставляют возможность опционального выбора функционала встроенных систем мониторинга. Зачастую при постройке судов судовладельцы в целях экономии выбирают только базовые функции систем, что существенно ограничивает их диагностические возможности. Наиболее полные и современные версии систем, как правило, устанавливаются на судах повышенными требованиям безопасности — круизных лайнерах, газовозах, танкерах-химовозах и судах специального назначения.

В результате на большинстве морских судов среднего возраста (5–15 лет) эксплуатируются с усеченным функционалом фирменных систем или вовсе без них. В таких условиях особую актуальность приобретают независимые мобильные и стационарно-переносные диагностические комплексы, а также интегральные информационные системы мониторинга, способные работать с оборудованием различных производителей.

На рынке представлено большое количество предложений по применению мобильных (переносных) средств диагностики. Такие известные производители, как CMT (Германия), Doctor Diesel, LEMAG (Швейцария), Kistler, PRIME и другие, предлагают современные портативные системы и электронные индикаторы.

Наиболее популярными решениями являются:

- PREMET M/X (CMT) — высокоточный портативный индикатор с датчиками Kistler;

- LEMAG PREMET и LEMAG ShaftPower — системы для индицирования двигателей и определения мощности на валу;
- Doctor Diesel — универсальные диагностические комплексы для средне- и малооборотных двигателей.

Отечественные средства диагностики представлены следующими системами:

Диагностический комплекс «Магистраль» (разработчик — ООО «Техтранс-Д») представляет собой универсальную систему, предназначенную для автоматизированной диагностики и мониторинга технического состояния судовых дизельных установок. Комплекс позволяет проводить глубокий анализ параметров рабочего процесса, формировать экспертные заключения и прогнозировать развитие неисправностей.

Комплекс «Дизель-Адмирал», разработанный НПК «Гарант», является одним из наиболее распространенных отечественных решений. Он обеспечивает контроль теплотехнических параметров, индицирование, обработку индикаторных диаграмм и выявление неисправностей как в стационарном, так и в переносном вариантах исполнения. Система хорошо адаптирована к условиям эксплуатации российского флота и может применяться на двигателях различных типов и производителей.

Комплекс «Ритм-дизель М» предназначен для автоматизированного непрерывного контроля работы дизельного двигателя. Он осуществляет мониторинг основных параметров рабочего процесса в реальном времени, ведет регистрацию и анализ данных, а также формирует сигнализацию при выходе параметров за допустимые пределы.

Данные отечественные системы отличаются сравнительно невысокой стоимостью, высокой ремонтпригодностью и возможностью адаптации под конкретные типы судовых дизелей. Они успешно конкурируют с зарубежными аналогами на судах российского флота, особенно в условиях импортозамещения и необходимости работы с уже эксплуатируемым оборудованием различного возраста и производителей.

В качестве примера подробнее рассмотрим цифровой индикатор CMT - PREMET M (Германия), представленный на рисунке 3.



Рисунок 3 – Внешний вид индикатора «PREMET M» (CMT)

В комплект поставки прибора входит:

- Цифровой индикатор PREMET® M;
- PREMET® TDC датчик для 4-тактных двигателей;
- DPA-CT-12023 PREMET® датчик для 2-тактных двигателей;

- DPA-CT-12024 Программное обеспечение PREMETS® Fleet Management;
- DPA-CT-12027 датчик угла поворота коленчатого вала;
- DPA-CT-1202815 соединительные кабели (15 м.)

Основные характеристики индикатора представлены в таблице 1:

Таблица 1. Основные характеристики индикатора CMT - PREMETS M

Давление воспламенения	0-350 bar
Датчик	Kistler 6013 CSF
Шаг измеряем оборотов	20-3000 rpm
Максимальное число цилиндров	20
Максимальное число дизелей в памяти	18
Максимальная температура	400 °C
Экран	alphanumeric, size 75 x 25 mm, resolution 20x4 char

PREMETS M: современный, экономичный и простой в использовании индикатор, позволяющий определять следующие параметры:

1. n - частоту вращения коленчатого вала;
2. P_{max} - максимальное давление сгорания;
3. P_i — среднее индикаторное давление за цикл по цилиндрам;
4. Мощность по цилиндрам;
5. Положение значения максимальное давления сгорания по отношению к ВМТ;
6. P_{ex} - значение давления на линии расширения при 36° после ВМТ;
7. $dP/d\alpha$ - скорость изменение давления по отношению к углу поворота коленчатого вала;
8. $P\text{-delta}$ - дифференциальное давление (разница давлений P_{max} и $P_{сотр}$);
9. Давление впрыска топлива по цилиндрам (при наличии датчика);

Кроме вышеперечисленных параметров имеется возможность ввести дополнительные параметры показаний штатных приборов и датчиков (температуру отработавших газов, температуру до и после охладителя надувочного воздуха, давление после охладителя надувочного воздуха, число оборотов турбокомпрессора, положение рейки топливного насоса - УН (указатель нагрузки), температуру газа после турбины и др.), которые позволяют составить более объективную картину технического состояния двигателя.

Для считывания частоты вращения коленчатого вала двигателя на его маховик устанавливается датчик частоты оборотов (индуктивный тахометрический датчик). В комплекте поставки обычно предусматривается 4 датчика: два на главный двигатель (основной и резервный) и по одному на каждый из вспомогательных дизель-генераторов.

Датчики работают по индуктивному принципу, фиксируя прохождение зубьев венца маховика, и передают сигнал на цифровой индикатор.

Схема установки датчиков частоты оборотов представлена на рисунке 4 ниже.



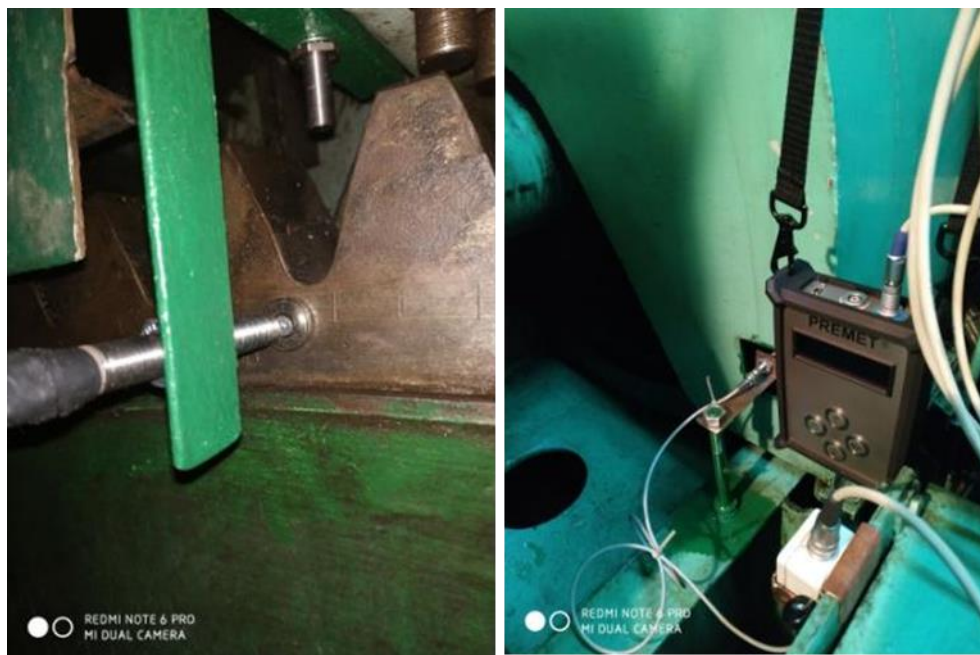


Рисунок 4 – Установка датчиков индикатора «PREMET M»

Если по какой-либо причине произошел отказ измерений или получены неверные результаты, то на дисплее сообщается код ошибки, по которому можно определить вероятную причину и необходимые действия по ее устранению. По окончании измерений механик должен отключить прибор, отсоединить датчик, переписать полученные данные на ПК (подключение по USB) для окончательной обработки.

Кроме программного обеспечения на судовом ПК для обработки результатов индицирования предусмотрена возможность передачи данных на удаленный облачный сервер, где при заходе на выделенный личный кабинет можно просмотреть и проанализировать выполненные экипажем замеры. Эта функция является полезной, так как дает возможность работать с полученными данными береговым специалистам технических служб судоходных компаний. Пример интерфейса удаленного доступа в данном индицирования представлен на рисунке 4.

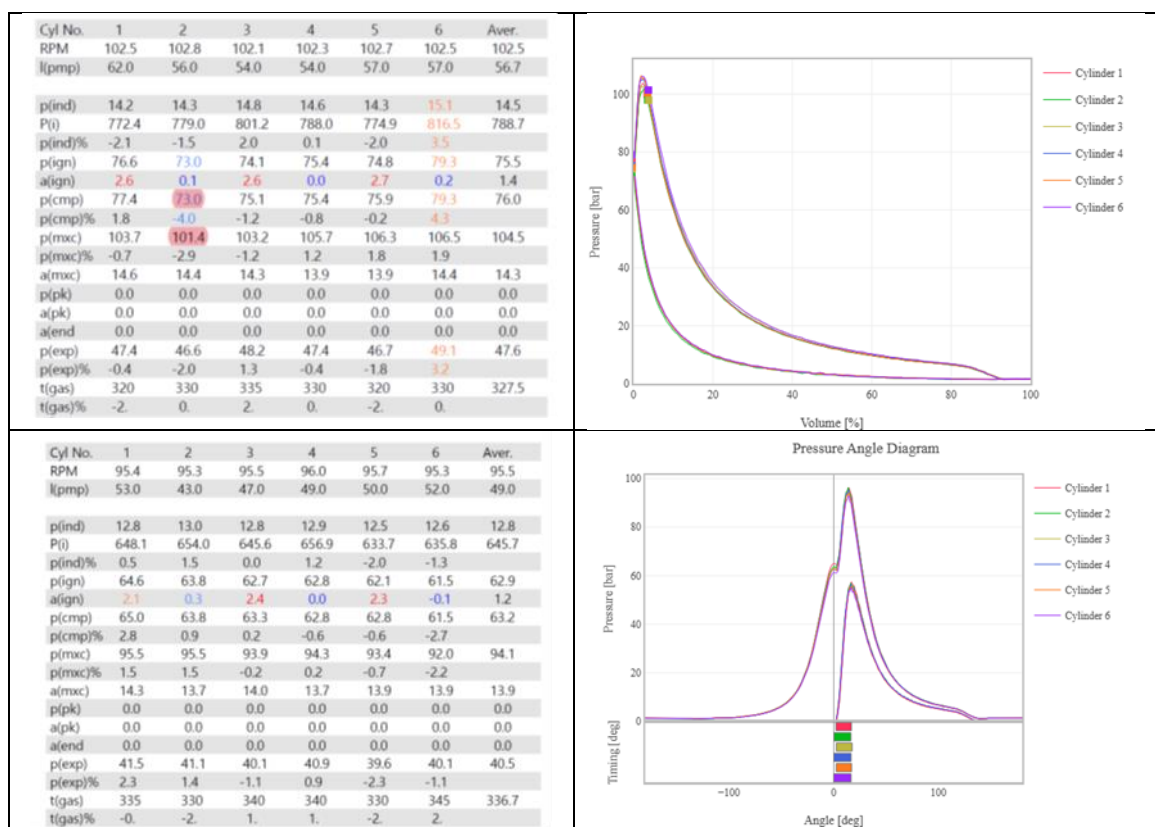


Рисунок 4 – Интерфейс удаленного доступа к полученным данным

Передача данных с судна на сервер осуществляется при отправке файла на выделенный почтовый адрес.

Мобильные средства диагностики отличаются высокой точностью измерений, относительно невысокой стоимостью и возможностью использования на двигателях различных производителей. Они особенно востребованы для периодического контроля, балансировки нагрузки по цилиндрам, проведения регулировочных работ после ремонта и независимой экспертной оценки технического состояния дизелей.

В качестве недостатков мобильных средств следует отнести отсутствие в некоторых из них возможности проведения индицирования по всем цилиндрам одновременно. Измерения, как правило, выполняются последовательно - от цилиндра к цилиндру, что требует значительных затрат времени и не позволяет получить мгновенную картину распределения нагрузки по всему двигателю.

Кроме того, мобильные системы не обеспечивают непрерывного мониторинга параметров в реальном времени, а предоставляют лишь «моментальный снимок» состояния двигателя в период проведения испытаний. Результаты диагностики в значительной степени зависят от квалификации и опыта оператора, а также от соблюдения строгих методических требований при выполнении измерений.

Комбинированное применение стационарных (встроенных) и мобильных систем диагностики позволяет получить наиболее полную и объективную картину технического состояния судовой дизельной установки, что является важным условием перехода к обслуживанию по фактическому состоянию.

Помимо стационарных и переносных средств диагностики, в последнее время широко внедряются комплексные информационные системы мониторинга эксплуатационных характеристик судна (Vessel Performance Monitoring System - VPMS). Эти системы активно применяются в отечественных и зарубежных судоходных компаниях для решения

широкого круга задач: сбора и анализа технической информации, мониторинга технического состояния судовых механизмов в режиме реального времени, прогнозирования безопасного маршрута следования судна с учетом погодных условий, контроля расхода топлива, оптимизации режимов работы энергетической установки и организации технического обслуживания по фактическому состоянию.

В качестве наиболее известных решений можно привести следующие системы:

- NARA (Финляндия) — одна из ведущих платформ, специализирующаяся на оптимизации энергоэффективности, моделировании работы корпуса и гребного винта, а также прогнозировании топливопотребления;

- Nautilus Labs (США) — современная система с использованием элементов искусственного интеллекта и машинного обучения для предиктивной аналитики и снижения эксплуатационных расходов;

- Marorka (Исландия) — комплексное решение по энергетическому менеджменту судна, обеспечивающее глубокий анализ и оптимизацию работы главной энергетической установки и вспомогательных механизмов.

Из отечественных разработок можно отметить следующие системы:

- BrizMarine (компания «Бриз») — многофункциональная система мониторинга эксплуатационных характеристик судна, позволяющая осуществлять контроль расхода топлива, анализ энергоэффективности и мониторинг технического состояния главных и вспомогательных механизмов;

- Soft Marine — комплексная платформа, ориентированная на сбор, обработку и визуализацию данных о работе судовых энергетических установок, с возможностью формирования отчетов по энергоэффективности и техническому состоянию;

- Magellan — система мониторинга и управления эксплуатационными параметрами судна, включающая модули прогнозирования расхода топлива, анализа работы пропульсивного комплекса и поддержки принятия решений по техническому обслуживанию.

Рассматриваемые системы отличаются высокой степенью интеграции с существующими судовыми системами автоматизации (AMS), системами управления двигателем и метеорологическими сервисами. Они позволяют не только фиксировать текущие параметры, но и формировать долгосрочные тренды, выдавать рекомендации по оптимизации режимов работы и значительно повышать общую энергоэффективность судна.

В отличие от традиционных фирменных систем (CoCoS EDS, Wärtsilä IAS), данные платформы являются независимыми от производителя двигателя и могут быть интегрированы на судах разного возраста и комплектации. Это делает их особенно востребованными для современных судоходных компаний, стремящихся к максимальной цифровизации и снижению эксплуатационных затрат.

Опыт применения мобильных и стационарных средств диагностики и контроля технического состояния судовых дизельных установок подтверждает высокую эффективность комбинированного подхода к мониторингу. Фирменные системы (CoCoS EDS, Wärtsilä IAS) демонстрируют отличные результаты на современных двигателях, в то время как мобильные комплексы (PREMET M/X, LEMAG, Doctor Diesel) и отечественные системы («Дизель-Адмирал», «Магистраль») обеспечивают необходимую универсальность и доступность для возрастного флота.

Особую практическую ценность представляют интегральные информационные системы мониторинга (VPMS), которые позволяют перейти от контроля отдельных параметров к комплексному управлению энергетической эффективностью и техническим состоянием судна в целом. Пример организации системы VPMS представлен на рисунке 5.



Такой подход создает надежную основу для перехода от планово-предупредительного обслуживания к обслуживанию по фактическому техническому состоянию (Condition-Based Maintenance и Predictive Maintenance). Внедрение подобных комплексных решений позволяет существенно повысить надежность судовых дизельных установок, снизить эксплуатационные расходы, минимизировать риск внезапных отказов и увеличить межремонтный ресурс двигателей.

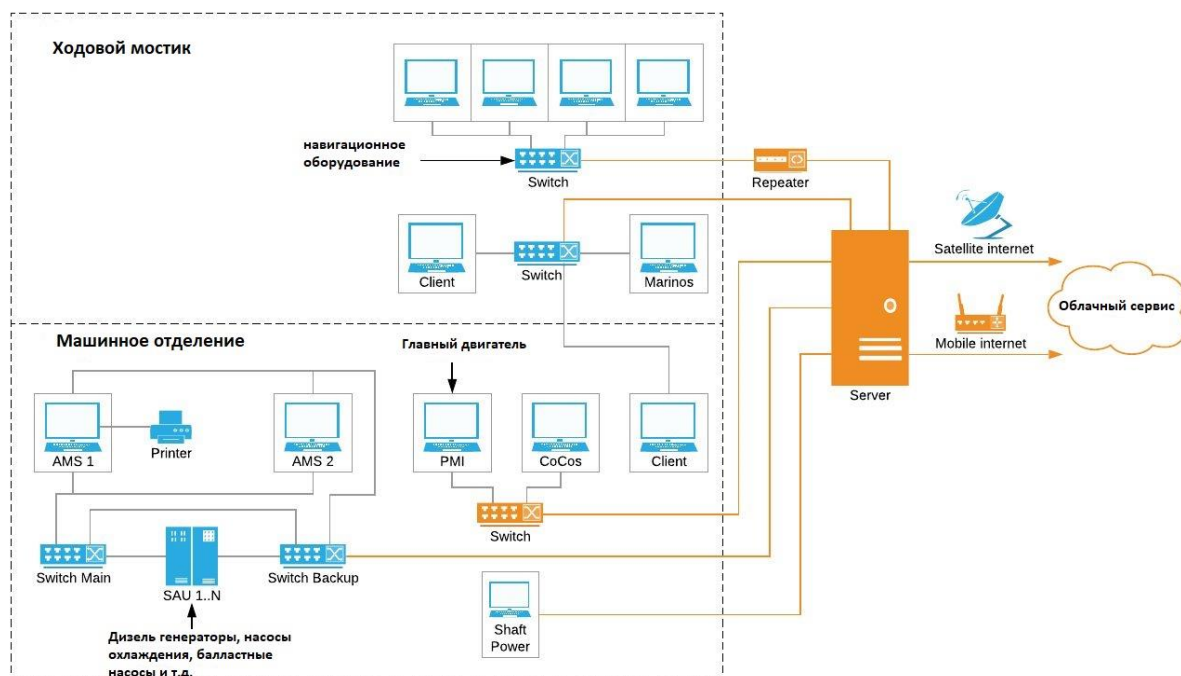


Рисунок 5 – Принципиальная схема судовой информационной системы VPMS

Дальнейшее развитие систем мониторинга судовых дизелей связано с более глубокой интеграцией искусственного интеллекта, Big Data и цифровых двойников, что открывает новые возможности для повышения эффективности и безопасности морского транспорта.

Список литературы:

1. Бурков Д. Е. Применение судовой информационной системы для контроля и мониторинга технического состояния судового оборудования / Д. Е. Бурков // Вестник ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — № 5 (81). — С. 167–184.
2. Иванченко А.А., Бурков Д.Е. Предпосылки и перспективы использования достоверных показаний встроенных диагностических систем и переносных средств при эксплуатации механического оборудования судов. Труды научно-технической конференции молодых научных сотрудников СПГУВК. Т.1 СПб.: СПГУВК, 2005. – с. 264–274.
3. Иванченко А.А., Васин П.А., Бурков Д.Е. Аппаратное и методическое обеспечение мониторинга и диагностирования технического состояния дизельных установок судов в рамках планово - предупредительной системы обслуживания с контролем состояния. Труды 11-го международного научно-технического семинара «Исследование, проектирование и эксплуатация судовых ДВС» СПб.2008: СПГУВК, с. 130-135.

4. В.Н. Окунев, Д.Е. Бурков. Современные системы диагностики и мониторинга технического состояния судовых дизелей. Журнал «Морская радиоэлектроника» №3-4 [33-34] октябрь-декабрь 2010 г. с. 35-48.
5. Коньков А.Ю. Мониторинг и диагностика технического состояния судовых энергетических установок / А.Ю. Коньков. — М. : Изд-во «Мортехинформ», 2024. — 312 с.
6. Равин А.А. Интеллектуальные системы мониторинга судовых дизелей / А.А. Равин, Ю.Н. Мясников. — СПб. : ЦНИИМФ, 2022. — 198 с.
7. Мясников Ю.Н. Перспективы развития систем condition monitoring на морском флоте России // Морской вестник. — 2025. — № 1. — С. 45–52.
8. Обозов А.А. Применение параметров рабочего процесса для диагностики судовых дизелей / А.А. Обозов, Д.А. Соколов // Двигателестроение. — 2024. — № 3. — С. 28–35.
9. Шишкин В.А. Цифровые технологии в технической эксплуатации судовых энергетических установок : учебное пособие / В.А. Шишкин. — СПб. : ГУМРФ, 2023. — 256 с.
10. Белов С.В. Интегральные системы мониторинга VPMS на судах российского флота // Судостроение. — 2025. — № 2. — С. 67–73.
11. Иванов П.С. Разработка системы FMOS для мониторинга главных двигателей типа MAN B&W // Вестник Государственной морской академии им. адм. С.О. Макарова. — 2024. — № 4. — С. 112–121.
12. Wärtsilä Integrated Automation System. Technical Manual. — Helsinki : Wärtsilä Corporation, 2024. — 245 p.
13. MAN Energy Solutions. CoCoS EDS – Engine Diagnostic System. User Guide. — Augsburg : MAN Energy Solutions SE, 2023. — 178 p.
14. Nautilus Labs. Vessel Performance Optimization using AI : White Paper. — New York : Nautilus Labs Inc., 2025. — 42 p.
15. Marorka. Energy Management and Vessel Performance Monitoring System. Product Overview 2024. — Reykjavik : Marorka ehf., 2024. — 56 p.

