

УДК 656.614.3+681.518.5

МОНИТОРИНГ МЕХАНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ**Петров Александр Павлович¹**, доцент, кандидат технических наук, доцент*e-mail:* petrovap@gumrf.ru**Живлюк Григорий Евгеньевич¹**, доцент, кандидат технических наук, доцент*e-mail:* zhivlyukge@gumrf.ru¹ Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Мониторинг и диагностика неисправностей в морских дизельных двигателях имеют жизненно важное значение для безопасности на море и эффективности эксплуатации. Несмотря на то, что было предложено несколько методов проектирования, все предлагаемые методы проектирования используют сложные и дорогостоящие подходы к решению проблем, связанных с аварийной сигнализацией. В этой статье рассматривается важность диагностики неисправностей, подчеркивая подсистемы, общие неисправности и последние достижения в подходах, основанных на данных, для эффективного обслуживания морских дизельных двигателей.

Ключевые слова: дизельный двигатель, судовая энергетическая установка, элементы, мониторинг технического состояния, система судового мониторинга, диагностика, сигнализация.

MONITORING OF MECHANICAL INSTALLATIONS AND THEIR ELEMENTS**Alexander P. Petrov¹**, Associate professor, Candidate of Technical Sciences, Associate professor*e-mail:* petrovap@gumrf.ru**Grigory E. Zhivlyuk¹**, Associate professor, Candidate of Technical Sciences, Associate professor*e-mail:* zhivlyukge@gumrf.ru¹ Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Saint Petersburg, Russia

Abstract. Monitoring and troubleshooting of marine diesel engines is vital for maritime safety and operational efficiency. Therefore, the development of an effective and reliable monitoring system is vital for safe and trouble-free operation. Although several design methods have been proposed, all the proposed design methods use complex and expensive approaches to solving problems related to alarm systems. This article examines the importance of fault diagnosis, highlighting subsystems, common faults, and recent advances in data-driven approaches for efficient marine diesel engine maintenance.

Keywords: diesel engine, marine power plant, elements, technical condition monitoring, diagnostics, alarm system.

Для современных судовладельцев важно учитывать этапы внедрения высокоразвитой системы судового мониторинга состояния. Их выгоды будут достигаться поэтапно, в зависимости от уровня приверженности изменениям корпоративной культуры и готовности инвестировать в развитие и инфраструктуру, определение эффективной системы диагностики [1].

Первый этап внедрения заключается в определении наиболее критичные режимы отказа судовой системы и оснащение соответствующих элементов датчиками, способными определять соответствующие физические параметры. Эта информация анализируется бортовыми компьютерами, которые выполняют диагностику и определяют исправное состояние элемента, а также необходимость его проверки, капитального ремонта или утилизации. Непосредственными преимуществами этого первого этапа являются возможность предотвращения отказов и снижение затрат и проблем безопасности, связанных с предотвращаемыми отказами.

Переход к эффективным системам прогнозирования

Второй этап включает в себя использование прогнозирования для определения оставшегося срока службы элементов, а также для получения представления о том, когда следует проводить техническое обслуживание, и для планирования этого. Для определения RUL прогнозисты используют статистическую информацию о моделях сбоев или физического износа, а также постоянно измеряемые параметры, определяющие состояние работоспособности. Преимущество доступа к этой информации заключается в том, что надежность судна оценивается в режиме реального времени и при необходимости могут быть приняты соответствующие меры. Конечным результатом является повышение доступности и снижение затрат на техническое обслуживание.

Переход к комплексному техническому обслуживанию в режиме реального времени с учетом рисков

На данном этапе техническое обслуживание на основе календаря и в сжатые сроки останется в прошлом, и будет осуществляться техническое обслуживание на основе мониторинга состояния. Техническое обслуживание, основанное на техническом состоянии, позволит определить правильные сроки и объем технического обслуживания конкретных контролируемых элементов, что значительно улучшит старые методы. По мере накопления опыта работы с такими системами и соответствующих математических знаний о процессах отказа повышается точность как диагностических, так и других методов, а прогностические алгоритмы улучшаются и будут давать более точные оценки остаточного ресурса. Это позволит в дальнейшем перейти к онлайн-обслуживанию, основанному на оценке рисков, где техническое обслуживание рассматривается как набор действий, которые используются для поддержания или снижения уровня системного риска с минимальными затратами. В данном случае отличие от старого представления о методах, основанных на оценке риска, заключается в том, что эти показатели оцениваются в режиме реального времени и на основе реальных операций, а не на рекомендациях и скудной статистике судовладельцев.

Это новое представление требует, чтобы возможность сопровождения рассматривалась уже на этапе проектирования [2]. Фактически, на этом этапе должны быть разработаны модели судовых систем для будущего использования в эксплуатации и для того, чтобы они стали частью системы поддержки принятия решений и управления информацией предприятия.

Одним из подходов может быть создание интегрированной структуры для проектирования жизненного цикла, включающей компьютерные модели элементов и



системные модели, которые могут учитывать изменения, измеряемые датчиками, и влияние, которое эти изменения оказывают на взаимодействующие элементы. Следовательно, как на элементном, так и на системном уровне модели будут включать информацию о физическом поведении, типах отказов и механизмах их распространения, а также о характеристиках и расположении датчиков. Кроме того, платформа может включать базу данных по техническому обслуживанию и эксплуатации, что обеспечит легкий доступ к этим данным из среды моделирования.

Подходы, основанные на оценке рисков в реальном времени

Общая цель процесса технического обслуживания заключается в повышении рентабельности эксплуатации и оптимизации общих затрат на весь жизненный цикл без ущерба для безопасности или охраны окружающей среды. Оценка рисков включает в себя затраты, надежность, безопасность и проблемы окружающей среды и, следовательно, может использоваться в качестве инструмента принятия решений для планирования технического обслуживания в режиме реального времени в сочетании с данными, получаемыми в режиме реального времени от систем мониторинга состояния. Планирование технического обслуживания, основанное на анализе рисков, сводит к минимуму вероятность отказа системы и его последствия (связанные с безопасностью, экономикой и окружающей средой) и помогает руководству принимать правильные решения относительно инвестиций в техническое обслуживание или смежные области. Это, в свою очередь, приведет к более эффективному использованию активов и капитала.

Итого, концепция управления рисками в режиме реального времени техническое обслуживание интегрирует состояние отдельного элемента на системном уровне и использует показатели надежности и риска, оцениваемые в режиме реального времени, для определения приоритетности действий по техническому обслуживанию отдельных элементов.

Системная перспектива, отображаемая на мостике

Благодаря эффективной системе мониторинга состояния текущее и будущее состояние работоспособности используется для раннего выявления неисправностей с помощью передовых алгоритмов анализа, и в соответствии с этим могут быть выполнены действия по техническому обслуживанию. Это снижает частоту отказов и, следовательно, повышает безопасность и надежность. Поскольку сбои, а также предотвращенные отказы регистрируются вместе с данными мониторинга состояния, получают улучшенные данные о надежности элементов и систем, что закладывает основу для улучшения управления рисками при меньшей неопределенности. Кроме того, система может немедленно предупреждать о надвигающихся сбоях, так что капитан судна может отключить оборудование или вернуться на берег, чтобы избежать критической ситуации или возникновения дополнительного ущерба.

Использование иерархической структуры для агрегирования включения состояния работоспособности или надежности элементов в состояние работоспособности подсистемы позволит экипажу и менеджерам мгновенно получать информацию о возможных сбоях и их последствиях для надежности и эксплуатационных характеристик судна (Рисунок 14). Возможность принимать обоснованные решения о продолжении миссии, обеспечивая при этом баланс между надежностью, производительностью и важностью миссии, может повысить доступность без ущерба для безопасности.

Чтобы использовать истинные преимущества коллекции для анализа оперативных данных судоходной отрасли необходимо внедрять инструменты, методы и системы нового поколения. Цель таких систем состоит в объединении эмпирических знаний, основанных



на эксплуатационных данных, с системными знаниями с целью поддержки различных этапов жизненного цикла судна. Эти новые методы и технологии должны стать одним из языков отрасли и быть интегрированы в рабочие процедуры отрасли. Эти разработки потребуют новых совместных усилий от дизайнеров, классовым обществам и операторам необходимо обеспечить соответствие системы мониторинга поставленным целям, и чтобы собранные данные содержали ценную информацию.

Береговая поддержка

Одним из первых последствий внедрения упомянутых выше новых технологий для управления состоянием судов является возможность определения механизмов, при которых системные интеграторы, производители элементов или другие поставщики услуг предлагают береговую поддержку для диагностики и прогнозирования, а также руководство в чрезвычайных ситуациях. В настоящее время есть несколько производителей оригинального оборудования (ОЕМ-производители), которые уже предоставляют такого рода услуги, когда центры удаленного управления, управляемые самими производителями, имеют прямую связь с судном и могут предлагать экипажу на борту профилактические или восстановительные действия.

В целом, такого рода соглашения позволяют повысить компетентность экипажа, поскольку они получают непосредственную поддержку от береговых экспертов и, таким образом, могут быть вовлечены в процесс обучения. Более того, благодаря усилению контроля со стороны береговых экспертов за работой экипажа (например, с помощью виртуальных пространств, защитных очков) отпадет необходимость в глобальном присутствии, поездках в отдаленные места и, таким образом, может быть достигнута значительная экономия средств. Наконец, диагностическая и прогностическая поддержка является действенным средством сокращения расходов на закупку запасных частей, благодаря увеличению сроков выполнения заказов и общему улучшению распределения ресурсов.

Механизмы, основанные на результатах работы

Еще одной возможностью является внедрение услуг, основанных на результатах. Для производителей элементов/систем это может означать комплексное послепродажное обслуживание, при котором производитель выполняет все задачи по техническому обслуживанию и гарантирует определенный уровень производительности своего продукта по фиксированной цене. Такое решение распределяет риски между производителем и его заказчиками и создает централизованную организацию технического обслуживания для всех аналогичных товаров, продаваемых производителем. Это также позволяет производителю сохранять полный контроль над своей продукцией и создает мощный стимул для постоянного повышения надежности продукции, поскольку некачественные характеристики окажут прямое негативное влияние на производителя. Кроме того, благодаря снижению технических рисков и повышению уровня обслуживания, это может рассматриваться как способ, позволяющий производителям получать более высокую долгосрочную прибыль. Для клиентов преимущества включают в себя большую предсказуемость состояния их активов и более низкую общую стоимость владения.

Такие услуги наиболее широко применяются в оборонном секторе и считаются полезными для реализации сложных и крупномасштабных проектов. Однако этот подход также становится все более распространенным в частном и государственном секторах, что особенно ярко проявляется в авиационной отрасли, где значительная часть авиационных реактивных двигателей продается в качестве услуги, ориентированной на производительность.



Аналитика и управление информацией

В то время как системные интеграторы и производители элементов могут быть вовлечены в послепродажное обслуживание инженерных систем, которые они поставляют, с разным уровнем вовлеченности, другие игроки могут играть важную роль в объединении данных из различных источников и в предоставлении решений для наиболее эффективного обслуживания активов. Эти игроки будут использовать технологию прогнозной аналитики для анализа данных о различных частях, элементах и системах судна и выработки рекомендаций по оптимизации технического обслуживания и эксплуатации. За счет сокращения разрозненности данных отдельных заинтересованных сторон и использования синергии общих информационных потоков могут появиться новые возможности. Верификация, сертификация и обеспечение надежности

Наконец, эти новые подходы к обеспечению условий руководство может облегчить отношения с классификационными обществами и регулирующими органами, а также с фрахтователями. На основе собранных данных могут быть определены новые интегрированные системы для подтверждения соответствия требованиям и подтверждения того, что судно соответствует своему назначению, что способствует прозрачности и улучшению коммуникации между участниками отрасли и, что не в последнюю очередь, обществом в целом.

В целом, ожидается, что технологическое развитие будет способствовать снижению затрат и повышению безопасности и благосостояния операторов. Однако это также может привести к увеличению затрат на жизненный цикл из-за повышенных требований к производительности, большему совершенству систем, сложности и повышенным требованиям к компетентности и обучению. Таким образом, управление рисками, связанными с внедрением новых технологий, будет по-прежнему иметь решающее значение в будущем, чтобы обеспечить снижение затрат при одновременном повышении безопасности и экологичности.

Разработка систем мониторинга не будет ограничена технологией. Скорее всего, отрасли придется взвесить преимущества более совершенных систем, которые включают снижение затрат, повышение безопасности и улучшение технического состояния судов, в сравнении с крупными инвестициями, необходимыми для управления изменениями.

Список литературы:

1. G. Manno, K. E. Knutsen and B. J. Vartdal, "An Importance Measure approach to System level Condition Monitoring of Ship Machinery Systems," in CM 2014 and MFPT 2014, Manchester, 2014.
2. An Innovative Machine Learning System for Real Time Condition Monitoring of Ship Machinery. Practical Design of Ships and Other Floating Structures — 2020. — pp 753–768.

