

УДК 656.614.3+681.518.5

МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

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.ru

¹ 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, системы судового мониторинга, диагностика, отказы, неисправности.

METHODS OF MONITORING THE CONDITION OF A SHIP'S POWER PLANT

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.ru

¹ 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, components, technical condition monitoring, marine monitoring systems, diagnostics, failures, malfunctions.

Целью данного аналитического документа является ознакомление с принципами, связанными с современным мониторингом технического состояния для прогнозного технического обслуживания, и обсуждение потенциальных преимуществ внедрения новых стратегий технического обслуживания в судоходной отрасли.

Мониторинг состояния – это процесс мониторинга набора параметров состояния судовой энергетической установки (СЭУ, далее – система) для выявления существенных изменений, указывающих на развивающуюся неисправность. Анализ измеренных данных состоит из этапа предварительной обработки, на котором проверяются выходные данные датчика и извлекаются такие характеристики, как цилиндрические особенности, температурные градиенты и режимы вибрации агрегатов. Используя извлеченные функции, можно использовать алгоритм диагностики для определения состояния работоспособности элемента или системы. При обнаружении надвигающегося сбоя оператор получает предупреждение (рис. 1). Тем самым получаем процесс мониторинга как замкнутую систему управления ТС путем мониторинга, диагностики и прогнозирования на основе анализа данных и необходимых действий в главной обратной связи процесса технического обслуживания на основе состояния СЭУ [1].



Рисунок 1 – Схема системы технического обслуживания, основанной на мониторинге ТС

Алгоритмы диагностики и прогнозирования для реализации оценки ТС объекта мониторинга основаны на одном из двух основных подходов: подходе, основанном на моделях объектов (физическая модель первых принципов), или подходе, основанном на их реальных данных (статистика и интеллектуальный анализ данных) [2].

Диагностика на основе моделей — это подход, основанный на моделировании, требует максимально точных знаний о физике процессов и функциях элемента или системы, а они не всегда недоступны. Механизмы разрушения, такие как распространение трещин и рост сколов, могут быть смоделированы, а модели обновлены с использованием данных измерений.

Ценную информацию о способах отказа можно получить с помощью моделирования СЭУ, объединяя модели на уровне материала, элементов и системы в целом, и они также могут быть использованы для оценки того, как ухудшение характеристик элементов и системы влияет на их работоспособность.

На основе сравнения результатов моделирования и фактических измерений физического элемента может оказаться возможным диагностировать элемент, изменяя модель до тех пор, пока не будет достигнуто соответствие между моделью и измерениями.

Этот подход не требует большого объема данных о предыдущих отказах для выявления неизбежного сбоя и, следовательно, может быть наиболее подходящим для недавно разработанных систем, оборудования с хорошими компьютерными моделями и ограниченной статистикой отказов.

Диагностика на основе реальных данных

Подход, основанный на данных, использует данные о предыдущих отказах и сопоставляет измеренные данные о состоянии с известными отказами, используя методы распознавания образов, такие как кластеризация и нейронные сети. Одним из существенных преимуществ по сравнению с подходом, основанным на моделях, является то, что нет необходимости в подробных физических данных о контролируемых элементах. Однако необходимы подробные статистические данные и измерения, связанные с предыдущими отказами, и поэтому этот подход может быть наиболее эффективным, подходит для устаревшего оборудования с хорошими статистическими данными о сбоях, без необходимости разработки физической модели. Недостатком по сравнению с подходами, основанными на физических моделях, является то, что статистические модели предполагают базовую стабильность контролируемой системы. Изменения в условиях нагрузки или режимах работы могут привести к неточностям, поскольку для диагностики неисправности используются исторические базы данных.

Прогнозирование

Прогнозирование расширяет результаты диагностики, оценивая будущее поведение систем [3]. На основе знаний о текущем состоянии работоспособности, прогнозирование позволяет прогнозировать будущее состояние работоспособности и определять оставшийся срок службы элемента или системы. Как и в случае с диагностикой, могут быть реализованы подходы, основанные как на моделях, так и на данных. Прогнозирование на основе моделей может учитывать такие механизмы физического разрушения, как распространение трещин или усталость. Однако эти модели являются неопределенными, и эта неопределенность должна учитываться в алгоритме прогнозирования. Преимущество заключается в том, что составляемый прогноз "основан на знаниях", то есть основан на реальных физических изменениях это может быть прослежено до определенной части или области элемента.

Система прогнозирования, основанная на данных, использует исторические данные об объекте в ходе работы до отказа, если таковые имеются. Исторические данные используются для обучения прогностического алгоритма, например, искусственных нейронных сетей, методов опорных векторов или скрытых марковских моделей. Данные измерений, полученные от элемента, находящегося в эксплуатации, затем передаются в обученный алгоритм, который определяет текущее состояние работоспособности элемента и прогнозирует его на будущее. Когда прогнозируемое состояние работоспособности выходит за пределы заданного порога, считается, что элемент вышел из строя, и расчетное время до выхода из строя равно оставшемуся сроку полезного использования ОСПИ – оставшийся срок полезного использования. Наличие надежного ОСПИ для каждого элемента чрезвычайно важно для планирования технического обслуживания, поскольку интервалы технического обслуживания могут быть увеличены, а несколько задач по техническому обслуживанию могут быть объединены для сокращения времени простоя.

Более подробный обзор технического обслуживания, ориентированного на надежность (ТООН – техническое обслуживание, ориентированное на надежность), – это программа, ориентированная на задачи, в которой задачи выбираются для каждого функционального сбоя или режима отказа. Задачи выбираются на основе нескольких критериев, таких как сложность и стоимость, когда предпочтительны простые и дешевые задачи, которые также



должны удовлетворять критериям применимости и эффективности. При выборе задачи или задач также необходимо учитывать последствия неудачи.

Необходимо учитывать пять различных типов последствий: безопасность, эксплуатационные характеристики, экономические аспекты, скрытая безопасность и скрытая небезопасность. Для определения наиболее подходящей задачи на основе этих критериев используются логические схемы. Если неисправность может быть предсказана и предотвращена с помощью мониторинга состояния элемента, это повышает безопасность и/или экономичность, затем следует провести мониторинг состояния. В конечном счете, если не удастся найти эффективные меры по техническому обслуживанию, необходимо рассмотреть возможность изменения конструкции элемента или системы (рисунок).

Мониторинг состояния и техническое обслуживание по состоянию являются центральной частью ТООН. Однако в рамках ТООН можно добиться дальнейшего повышения безопасности, доступности и затрат, поскольку для поиска наиболее эффективного решения требуется системный подход. Наибольшее внимание уделяется наиболее важным с точки зрения безопасности и рентабельности мерам, в то время как наименее критичные элементы могут подвергаться оперативному техническому обслуживанию (запуск до отказа).

Существует пять различных типов последствий, которые необходимо учитывать: безопасность, эксплуатационные характеристики, экономические аспекты, скрытая безопасность и скрытая небезопасность. Для определения наиболее подходящей задачи на основе этих критериев используются логические схемы. Если неисправность может быть предсказана и предотвращена с помощью мониторинга состояния элемента, это повышает безопасность и/или экономичность, затем следует провести мониторинг состояния. В конечном счете, если не удастся найти эффективные меры по техническому обслуживанию, необходимо рассмотреть возможность изменения конструкции элемента или системы (рис. 2).



Рисунок 2 – Простейшая логика принятия решений ТООН

Мониторинг состояния и техническое обслуживание по состоянию являются центральной частью ТООН. Однако в рамках ТООН можно добиться дальнейшего повышения безопасности, доступности и затрат, поскольку для поиска наиболее

эффективного решения требуется системный подход. Наибольшее внимание уделяется наиболее важным с точки зрения безопасности и рентабельности мерам, в то время как наименее критичные элементы могут подвергаться оперативному техническому обслуживанию.

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. Moving the maritime industry towards a condition-based future. DVV Media Group GmbH — 2019. — 4 с.
3. 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.

