

УДК 656.6

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДИЗЕЛЕЙ В ЭКСПЛУАТАЦИИ**Торопов Данил Олегович¹**, аспирантe-mail: dan.toropov2000@yandex.ru**Матвеев Юрий Иванович¹**, д.т.н., доцент Профессор ВАК, кафедры ЭСЭУe-mail: matveeveseu@mail.ru¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В статье рассматривается проблема перехода от системы планово-предупредительных ремонтов к обслуживанию судовых дизелей ориентированной на фактическое техническое состояние оборудования. В работе представлена методика безразборной оценки технического состояния, базирующаяся на комплексном анализе ключевых групп параметров: теплотехнический контроль, виброакустических характеристик, интенсивность шума, а также значение удельного расхода топлива и масла.

Ключевые слова: техническая эксплуатация, судовой дизель, безразборная диагностика, вибродиагностика, теплотехнический контроль, расход топлива, параметрическая оценка.

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF DIESEL ENGINES IN OPERATION**Danil O. Toropov¹**, Doctoral Studente-mail: dan.toropov2000@yandex.ru**Yury I. Matveev¹**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Operation of Ship Power Plantse-mail: matveeveseu@mail.ru¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article addresses the issue of transitioning from a system of scheduled preventive maintenance to a maintenance approach for marine diesel engines based on the actual technical condition of the equipment. The paper presents a methodology for non-intrusive assessment of technical condition, based on a comprehensive analysis of key parameter groups: thermal control, vibroacoustic characteristics, noise intensity, as well as specific fuel and oil consumption values.

Keywords: technical operation, marine diesel engine, non-intrusive diagnostics, vibration diagnostics, thermal control, fuel consumption, parametric assessment.

Введение

Современная стратегия технической эксплуатации флота требует, чтобы неподходящие механизмы были сведены к минимуму. При использовании только обычного оборудования

длительная работа дизеля часто игнорируется, поскольку параметры рабочего процесса постепенно ухудшаются. Целью данной работы является создание совместной технологии, сочетающей тепловые, вибрационные, акустические методы контроля и контроля расхода, для получения достоверной оценки технического состояния без вывода из эксплуатации дизельного топлива.

1. Теплотехнический контроль как индикатор внутрицилиндровых процессов.

Тепловые параметры являются основным показателем качества протекания рабочего цикла. Технология включает в себя:

- **Отображение и измерение максимального давления сгорания:** отклонение давления в цилиндре от контрольного давления превышает 5%, что указывает на нарушение газораспределения, износ поршневого кольца или зависание иглы форсунки.
- **Анализ температуры выхлопных газов:** Контроль начальной температуры в выпускном коллекторе. С повышением давления повышается температура в каждом цилиндре, что указывает на задержку впрыска; снижение температуры означает, что потеря компрессии или циркулирующая подача невелики.
- **Давление сжатого воздуха:** сложный параметр, который сочетает в себе состояние газотурбинного наддува и проточной части.

2. Вибрационная диагностика: кинематика и контроль зазоров

Вибрация позволяет судить о характере динамических нагрузок, действующих в сопряженных элементах механизма. В рамках предлагаемой методики применяют следующие подходы:

- **Спектральный анализ вибрация.** С его помощью выделяют характерные частоты – в частности, полуторную, лопастную и зубцовую гармоники. Эти составляющие спектра служат диагностическими признаками для оценки технического состояния подшипников скольжения коленчатого вала, а также распределительного механизма.
- **Анализ фазовых портретов.** Метод базируется на сопоставлении временных реализация виброускорения, регистрируемых на корпусе цилиндровой крышки. Такой подход помогает обнаружить неплотности клапанов и выявить увеличение тепловых зазоров.
- **Мониторинг амплитудного тренда.** Отслеживают постепенное повышение общего уровня вибрации – в первую очередь среднеквадратического значения – в высокочастотном диапазоне (свыше 1000 Гц). Устойчивый рост показателя рассматривают как признак развивающихся дефектов: например, появление задиров либо нарушения режима жидкостного трения в цилиндропоршневой группе.

3. Акустическая диагностика (анализ шумовых характеристик)

В данной методике шум трактуется не как помеха, а как информативный параметр, позволяющий выявлять неплотности и газодинамические отклонения в работе узлов.

- **Локализация утечек.** Для поиска мест прорыва газа используют узконаправленный микрофон либо ультразвуковой детектор: ими сканируют ключевые газовые стыки – выпускной тракт, уплотнения крышек, индикаторные краны. О наличии утечки свидетельствует интенсивный высокочастотный шум, характерный для истечения газа через неплотности.
- **Кавитационный шум:** Устранение акустических сигналов в области втулок цилиндров системы охлаждения, чтобы обнаружить кавитационную эрозию на ранней стадии.

- **Диагностика топливного устройства:** Анализ щелчков форсунок. Фазовый сдвиг или изменение спектра, соответствующие звуку, указывают на то, что распылитель изношен или давление в начале впрыска изменилось.

4. Параметрический контроль: расход топлива и масла

Экономичность является интегральным критерием состояния. Технология основана на устранении погрешности судового расхода за счет учета времени работы:

- Удельный эффективный расход топлива: периодическое измерение или частотный метод с помощью тахометра и датчика мгновенного расхода. При нормальных значениях номинальной нагрузки и максимальном давлении сгорания и наддува расход топлива увеличивается на 3-7%, что указывает на механическую потерю на трение.
- Удельный расход на испарение и сгорание масла: Мониторинг уровня масла в картере динамика с фиксацией доливов. Интенсивный рост расхода масла в совокупности с ростом давления картерных газов является абсолютным браковочным признаком износа или закоксовки поршневых колец.

5. Комплексный алгоритм оценки и принятия решений:

Методы диагностики дают разрозненные, а порой и несовпадающие данные о состоянии дизеля. Для получения однозначного заключения о допуске к эксплуатации и планировании обслуживания разработан алгоритм комплексной оценки.

Основой алгоритма служит матрица технического состояния, в которой каждому контролируемому параметру (максимальному давлению сгорания, температуре отработавших газов, давлению наддува, среднему квадратическому значению виброускорения в заданной полосе частот, уровню высокочастотного шума, удельному расходу топлива и удельному угару масла) присваивается весовой коэффициент значимости. При этом коэффициенты не фиксированы: они варьируются в зависимости от режима работы двигателя. Так, на установившемся ходовом режиме приоритет отдают теплотехническим параметрам и расходу топлива – они напрямую влияют на мощность и экономичность установки. В маневренном режиме и при пусках возрастает важность вибрационных и акустических показателей, так как в эти моменты наиболее вероятны ударные нагрузки и срыв жидкостного трения.

Далее все измеренные показатели приводят к единому виду – нормируют по отношению к эталонным значениям. В качестве эталона используют данные стендовых испытаний нового либо капитально отремонтированного дизеля, либо показатели, зафиксированные в начале эксплуатации. Затем эти отклонения умножаются на соответствующие режимные веса и суммируются. Получаемая безразмерная величина называется интегральным показателем технического состояния.

Для практического использования введена трехзонная шкала оценки:

- «Зелёная зона» - интегральный показатель в пределах нормы. Это говорит о том, что контролируемые параметры близки к эталонным. Дизель допускается к эксплуатации без ограничений вплоть до следующего планового осмотра.
- «Жёлтая зона» - показатель превысил допустимый порог, но не достиг критического. Такая ситуация требует выполнения регулировочных работ (например, настройки топливной аппаратуры, подтяжки соединений), сокращение межремонтного интервала или проведения углубленного диагностирования конкретного узла. Эксплуатация разрешена, но под усиленным контролем.
- «Красная зона»: - интегральный показатель достиг критического значения. Это указывает на наличие серьезного дефекта, который может быстро привести к аварии. В этом

случае дизель необходимо немедленно остановить, а дефектный узел – отремонтировать или заменить.

Дополнительно алгоритм предусматривает анализ вклада отдельных параметров в общий показатель. Если выход в желтую или красную зону произошел в основном из-за роста вибрации и шума при нормальных теплотехнических параметрах, это указывает на механические проблемы (износ подшипников, задиры). Если же доминирует отклонение температуры газов и давления сгорания, вероятно неисправность топливной аппаратуры или газораспределения. Резкий рост угара масла при умеренных отклонениях остальных параметров свидетельствует об износе поршневых колец.

Такой подход не только дает общую оценку состояния дизеля, но и позволяет локализовать проблемный узел. Благодаря этому сокращается время поиска неисправности и уменьшается длительность простоя оборудования. Методику можно реализовать как в формате переносного как в формате переносного диагностического комплекса, так и в составе стандартной системы мониторинга судовой энергетической установки. Автоматизированная обработка данных с цветовой индикацией зон упрощает работу судового механика, снижает риск ошибок из-за человеческого фактора и способствует переходу к обслуживанию по фактическому состоянию.

Заключение

Предлагаемый комплексный метод сочетает в себе методы теплотехнического контроля, вибродиагностики, акустического анализа и контроля затрат топлива и масла, что позволяет надежно выявлять дефекты топливной аппаратуры и износ цилиндропоршневых группы. Практическое внедрение технологии в виде портативного диагностического комплекса и внедрение общепринятых практик в судомеханике обеспечивают снижение эксплуатационных расходов за счет уменьшения количества переборок и предотвращения аварийных отказов дизелей в рейсе.

Список литературы:

1. Конюхов А.В., Семенюк А.В. Безразборная диагностика судовых дизелей по параметрам работающего масла и вибрации // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. — 2021. — № 2. — С. 77-85.
2. Гаврилов В.В., Попов А.Н. Оценка технического состояния цилиндропоршневой группы судовых дизелей на основе параметрической диагностики // Двигателестроение. — 2022. — № 1 (287). — С. 35-41.
3. Возницкий И.В. Практические рекомендации по смазке судовых дизелей. — СПб.: Моркнига, 2018. — 144 с.
4. Возницкий И.В., Михеев Е.Г. Судовые дизели и их эксплуатация: учебник. — М.: Транспорт, 1990. — 360 с.
5. Самсонов В.И., Худов Н.И. Судовые двигатели внутреннего сгорания: учебник. — М.: Транспорт, 1991. — 368 с.
6. Овсянников М.К., Петухов В.А. Судовые дизельные установки: справочник. — Л.: Судостроение, 1986. — 424 с.
7. Барков А.В., Баркова Н.А. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации: учебное пособие. — СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2006. — 156 с.
8. Костюков В.Н., Наumenко А.П. Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин: учебное пособие. — Омск: Изд-во ОмГТУ, 2007. — 360 с.
9. ГОСТ ИСО 10816-3-2016. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Промышленные машины номинальной мощностью свыше 15 кВт.



10. РД 31.21.56-97. Правила технической эксплуатации судовых дизелей. — СПб.: ЦНИИМФ, 1997. — 148 с.
11. ISO 3046-6:2020. Reciprocating internal combustion engines — Performance — Part 6: Measurement of fuel consumption.

