

ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ ВО ВРЕМЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

А. Р. Миська, асп., А. О. Дранкова, к.т.н., доц., О. В. Глазева, к.т.н., доц.

Одесская национальная морская академия

ул. Дидрихсона, 8, 65029, г. Одесса, Украина

E-mail: sanya-taku@rambler.ru

Рассматривается проблема повышения эффективности систем диагностики технического состояния судовых дизель-генераторов (СДГ). Обоснован переход от принципов эксплуатации по назначенным ресурсным показателям СДГ к эксплуатации по их техническому состоянию. Предложено использовать методы трендового анализа в качестве методов анализа статистических данных в системах диагностики технического состояния СДГ. Проанализирована эффективность и надежность применения некоторых критериев тренда для реальных данных, а именно, температур выпускных газов цилиндров СДГ.

Ключевые слова: техническая диагностика, временные ряды, трендовый анализ, критерии тренда.

Введение. Современные системы диагностики технического состояния объектов энергетического и транспортного назначения, к которым, в частности, относятся судовые дизель-генераторы (СДГ), служат для достижения высоких технико-экономических показателей эксплуатации этих объектов. В этой связи усовершенствование систем диагностики технического состояния СДГ является весьма актуальной задачей.

В настоящее время наметилась тенденция перехода от принципов эксплуатации по назначенным ресурсным показателям СДГ к эксплуатации по их техническому состоянию [1].

Техническая диагностика СДГ во время эксплуатации неразрывно связана с анализом рабочего процесса в цилиндрах [2], а также с использованием методов статистического анализа эксплуатационных параметров, которые характеризуют данный процесс.

Анализ предыдущих исследований. Практикой доказано, что максимальная эффективность работы СДГ достигается при периодическом контроле (мониторинге) параметров рабочего процесса и своевременном принятии необходимых мер для его корректировки. Эффективная и безаварийная эксплуатация СДГ возможна при условии периодического контроля основных параметров рабочего процесса, топливоподачи и газораспределения [2]. Все современные двигатели средней и высокой мощности оборудованы индикаторными кранами, что позволяет применять специальные неохлаждаемые датчики для записи давления газов в цилиндрах. Наиболее известными являются следующие: тензометрические датчики GT-20 (20А, 21) норвежской фирмы Autronica; пьезокварцевые датчики Kistler; оптические датчики Ortrand; емкостные датчики PS-16 DEPAS [2]. Основным отличительным свойством таких датчиков является широкий диапазон рабочих температур: от температуры в машинном отделении до температуры 400°C. Типичный рабочий диапазон измеряемых давлений – до 200-250 бар [3].

Для анализа процесса впрыска топлива применяют датчики давления, рассчитанные на работу при высоких импульсных нагрузках с максимальными давлениями до 2000-3000 бар. Рабочий температурный диапазон датчиков давления топлива умеренный – до 150°C. Датчики устанавливаются в систему высокого давления через специальные клапаны, рассчитанные на импульсные давления до 2000-3500 бар.

Широко используемые на судах "максиметры" определяют только пиковые значения давлений по цилиндрам либо давления в конце сжатия при отключенной подаче топлива. Однако, кроме этих двух параметров давления, существует целый ряд других параметров, мониторинг которых во время эксплуатации дает возможность осуществлять более качественный контроль рабочего процесса дизеля и производить точную регулировку отдельных узлов. Так, например, контроль среднего индикаторного давления позволяет определить перегрузку отдельных цилиндров и равномерно распределить мощность по всем цилиндрам дизеля. Контроль максимальной скорости повышения давления при сгорании топлива позволяет ограничить ударные нагрузки на подшипники отдельных цилиндров и выявлять недостатки в работе топливной аппаратуры.

С помощью контроля геометрических и действительных фаз топливоподачи производится комплексная оценка технического состояния топливной аппаратуры. Контроль фаз газораспределения во время работы дизеля позволяет оперативно оценить техническое состояние газораспределительного механизма и поддерживать паспортные значения углов закрытия и открытия клапанов.

Кроме вышеперечисленных, существует еще целый ряд параметров рабочего процесса, мониторинг которых во время эксплуатации в значительной степени поможет обслуживающему персоналу поддерживать нормальное техническое состояние дизеля (табл. 1 и табл. 2) [2, 4].

Таблица 1 – Индикаторные параметры рабочего процесса

Обозначение		Параметр
p_i	MIP	Среднее индикаторное давление
N_i	$iPower$	Индикаторная мощность цилиндра
n	rpm	Частота вращения коленчатого вала, мин ⁻¹
p_C', φ_{Pc}	P_{IGN}, φ_{IGN}^P	Давление и угол начала самовоспламенения топлива
P_Z, φ_{Pz}	P_{MAX}, φ_{MAX}^P	Максимальное давление сгорания топлива и соответствующий угол поворота коленчатого вала (°ПКВ) за верхней мертвой точкой (ВМТ)
p_C	P_{COMP}	Максимальное давление сжатия в цилиндре
v_m, λ	v_m, λ	Максимальная скорость и степень повышения давления газов при сгорании топлива
p_{36}	P_{exp}	Давление на линии расширения (36° ПКВ за ВМТ)

В настоящее время на судах применяются как стационарные, так и переносные системы компьютерной диагностики СДГ, реализующие метод «разделенного мониторинга» [1, 5]. В переносных системах отсутствуют стационарные кабельные трассы, центральный блок системы работает под управлением контроллера с аналоговой периферией и достаточным объемом оперативной и энергонезависимой флеш-памятью. В системах предусмотрена передача данных индицирования на персональный компьютер, где производится расчет и анализ рабочего процесса. Существенно (по сравнению со стационарными системами) снижена стоимость переносных систем, что способствует их большему распространению на судах морского флота. В стационарных системах используется аппаратная синхронизация данных, использующая фазовые датчики, установленные на маховике двигателя [6].

В переносных системах используется как аппаратная, так и программная синхронизация данных. Программная синхронизация позволяет не использовать датчики на маховике, а получать

данные непосредственно во время эксплуатации дизеля.

Таблица 2 – Параметры топливоподачи и газораспределения

Обозначение		Параметр
α, φ_{inj}	$\alpha F_{Popen}, G$	Действительные - угол опережения и угол впрыскивания топлива
$\alpha^G, \varphi_{ВП}^G$	$\alpha^G, \varphi_{inj}^G$	Геометрические - угол опережения и угол впрыскивания топлива
$\varphi\tau_i, \tau_i$	$\varphi_{DEL}, iDel$	Угол и время задержки самовоспламенения топлива
$\varphi_{ОТКР}^{ВП}, \varphi_{ЗКР}^{ВП}$	$\varphi_{опн}^{in}, \varphi_{cl}^{in}$	Углы открытия и закрытия впускного клапана
$\varphi_{ОТКР}^{ВЫП}, \varphi_{ЗКР}^{ВЫП}$	$\varphi_{опн}^{exh}, \varphi_{cl}^{exh}$	Углы открытия и закрытия выпускного клапана

Перечисленные параметры рабочего процесса СДГ характеризуют техническое состояние цилиндрично-поршневой группы (ЦПГ), топливной аппаратуры и механизма газораспределения. Их текущий контроль позволяет добиться качественного регулирования двигателя и равномерного распределения мощностей по цилиндрам. Использование систем компьютерной диагностики рабочего процесса судовых дизелей направлено на повышение их экономичности, увеличение ресурсных характеристик и продление межремонтного периода их эксплуатации.

Цель работы. Обоснование возможности применения методов трендового анализа в системах диагностики технического состояния СДГ во время эксплуатации.

Материал и результаты исследования. Анализ эксплуатационных качеств элементов СДГ показывает, что наиболее частые отказы дизелей связаны с выходом из строя ЦПГ дизель-генераторов [4]. На практике основными причинами неисправностей ЦПГ дизель-генераторов являются тепловые и механические перегрузки, причем в современных дизель-генераторах тепловые перегрузки встречаются значительно чаще механических. Контроль тепловых и механических перегрузок СДГ является особенно актуальным во время эксплуатации, поскольку от него в первую очередь зависит безопасность мореплавания и во вторую очередь – ресурс двигателя и потребление им топлива. На основании опыта проведения теплотехнических испытаний видно, что минимальный объем регистрирующих приборов на судне – это приборы контроля температур выпускных газов СДГ [2]. Таким образом, неслучайно в представленной работе в качестве исследуемых статистических выборок используются выборки временных рядов

температур выпускных газов в каждом из цилиндров 7-цилиндровых СДГ типа MAN-B&W Holeby.

Обнаружение тенденций изменения значений температур выпускных газов каждого цилиндра проведено на основе трендового анализа [7, 8]. Используются следующие статистики тренда, наиболее часто применяемые для анализа временных рядов:

1. Критерий Хальда-Аббе (г-критерий):

$$r = 0,5(Var_y)^{-1} \sum_{k=1}^N (y_{k+1} - y_k)^2, \quad (1)$$

где Var_y – выборочная дисперсия временного ряда $\{y_k\}$.

2. Модифицированный г-критерий:

$$r' = 0,5hr[(2-r)/r], \quad (2)$$

Преобразование (2) при $N > 10$ нормализует распределение критерия (1) с дисперсией $1/(N-3)$, что упрощает определение критических уровней.

3. Интегральный S-критерий:

$$S_N = \sum_{k=i}^N \left[y_k - (1/k) \sum_{n=1}^k y_n \right], \quad (3)$$

Статистика (3) является кумулятивной суммой, центрированной относительно выборочного среднего.

4. Модернизированный S-критерий:

$$S'_N = \sum_{k=i}^N (y_k - \hat{m}_k), \quad (4)$$

где \hat{m}_k – оценка линейной регрессии $\{y_k\}$ с уточнением коэффициентов регрессии на каждом шаге. Согласно [9], критерий (4) позволяет учесть изменение параметров по наработке.

5. Интегральный критерий приращений:

$$I_k = \sum_{k=i}^N (y_k - y_{k-i}), \quad (5)$$

с выбором $I_{10} = y_{11} - 0,1 \sum_{i=1}^{10} y_i$.

6. Критерий основан на известной статистике Фишера, применяемой в дисперсионном анализе [7].

Ф-критерий в форме

$$F = \left[\sum_{k=1}^N (y_k - m_N)^2 \right]^{-1} \sum_{k=1}^N (y_k - \hat{m}_k)^2 \quad (6)$$

позволяет не только определить факт наличия тренда, но и оценить его параметры.

Временной интервал анализируемой выборки температур выпускных газов цилиндров составляет (10057...11665) часов. Предварительный статистический анализ выборки позволил установить ее неоднородность и разделить на недельные циклы, для которых принадлежность к генеральной совокупности является обоснованной.

На рис. 1 представлен первый недельный цикл.

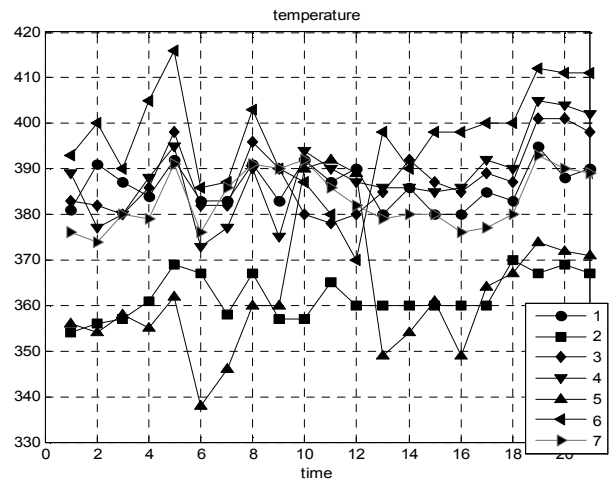


Рисунок 1 – Временные ряды первой недельной выборки по цилиндрам № 1...№ 7

Диаграммы на рис. 2 и рис. 3 отражают изменение функционалов решающих статистик по различным критериям для первого и пятого цилиндров соответственно.

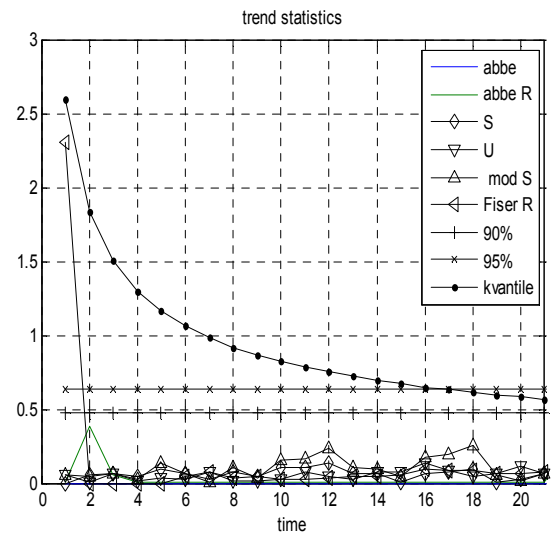


Рисунок 2 – Статистики для цилиндра № 1

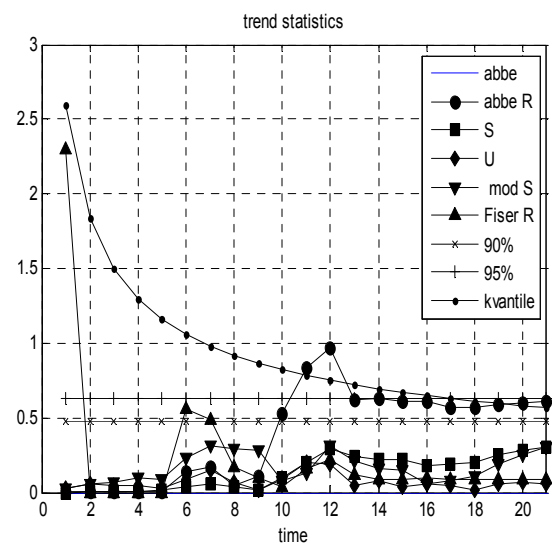


Рисунок 3 – Статистики для цилиндра № 5

На рис. 4 представлен второй недельный цикл, а рис. 5 и рис. 6 иллюстрируют изменение решающих статистик тех же цилиндров.

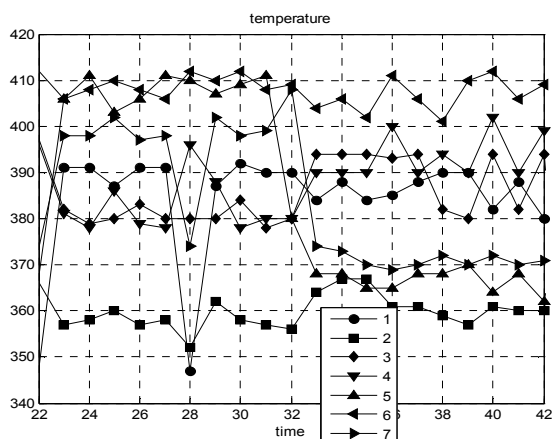


Рисунок 4 – Временные ряды второй недельной выборки по цилиндрам № 1...№ 7

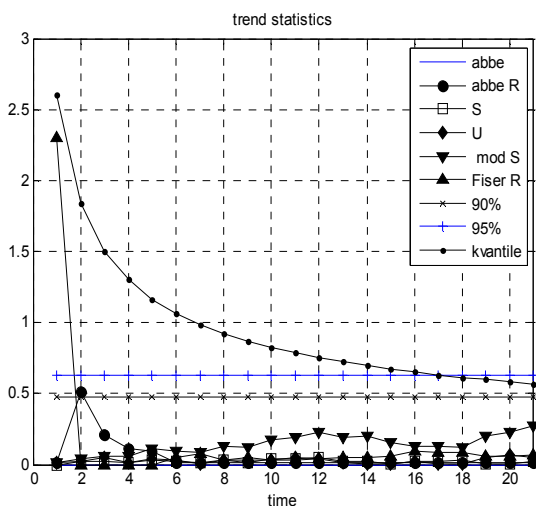


Рисунок 5 – Статистики для цилиндра № 1

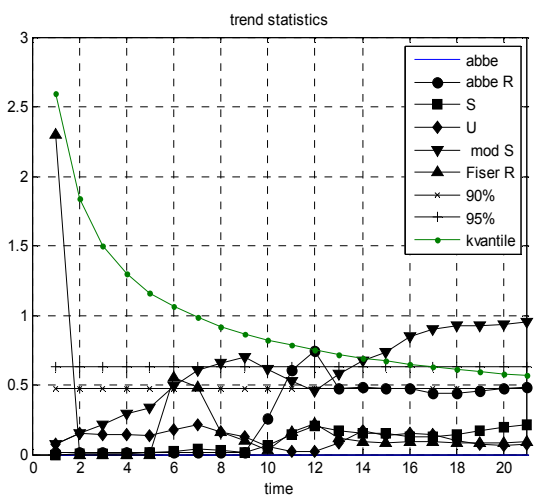


Рисунок 6 – Статистики для цилиндра № 5

Как видно из приведенных диаграмм, наиболее целесообразно использовать критерий Аббе в модифицированном виде и критерий кумулятивных сумм. Для цилиндра № 5 при помощи указанных критериев обнаруживается трендовый участок температуры выпускных газов, другие трендовые критерии дают ложные срабатывания. Сравнительный анализ решающих статистик установил, что для цилиндра № 5 имеет место тренд на 95 % уровне значимости по критериям Аббе и кумулятивных сумм [10]. Этот вывод подтвержден моделированием поиска трендов решающих статистик температур выпускных газов для различных режимов работы судовых дизель-генераторов. Моделирование было проведено с использованием реальной базы данных температур выпускных газов каждого цилиндра для четырех судовых дизель-генераторов типа MAN-B&W Holeby 7L 27/38.

Выводы. Проведенные исследования, результаты сопоставительного анализа и численного моделирования позволяют сделать вывод о возможности применения методов трендового анализа в системах диагностики технического состояния судовых дизель-генераторов во время эксплуатации.

Перспективы дальнейших исследований в направлении повышения эффективности диагностики технического состояния СДГ заключаются в подборе и обосновании реалистичных статистических моделей исследуемых временных рядов для различных типов судовых дизель-генераторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Миська А.Р., Дранкова А.О., Муха Н.И. Информационный подход к мониторингу технического состояния судовых дизель-генераторных установок // Авиационно-космическая техника и технология: Научно-технический журнал. – Харьков: ХАИ. – 2010. – № 8 (75). – С. 136–139.
2. Варбанец Р.А., Ивановский В.Г., Мониторинг рабочего процесса судовых дизелей в эксплуатации // Двигатели внутреннего сгорания. Научно-технический журнал. – Харьков, 2004. – № 2 (5). – С. 138–141.
3. Камкин С.В., Возницкий И.В., Шмелев В.П. Эксплуатация судовых дизелей: Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1990. – 344 с.
4. Гаврилов И.В., Камкин С.В., Шмелев В.П. Техническая эксплуатация судовых дизельных установок. – М.: Транспорт, 1979. – 415 с.
5. Система разделенного мониторинга рабочего процесса СДВС / Р.А. Варбанец, В.Г. Ивановский, Ю.Н. Кучеренко // Научно-практическая конференция НМТУ "СЭУ" : междунар. научн.-техн. конф., сентябрь 2003 г. : тезисы докл. – Николаев, 2003. – С. 233.

6. Варбанец Р.А. Системы компьютерной диагностики судовых дизелей // Судостроение. – 2004. – № 6. – С. 24–27.

7. Колемаев В.А., Староверов О.В., Торундаевский В.В. Теория вероятности и математическая статистика. – М.: Высш. шк., 1991. – 400 с.

8. Миргород В.Ф., Ранченко Г.С. Особенности применения трендовых статистик при обработке данных в системах технической диагностики // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2005. – № 4. – С. 25–27.

9. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров.

– М.: Наука, 1973. – 608 с.

10. Миська А.Р. Трендовый контроль режимных параметров дизель-генераторных установок // Авиационно-космическая техника и технология: Научно-технический журнал. – Харьков: ХАИ. – 2010. – № 7 (74). – С. 154 – 158.

Стаття надійшла 10.06.2011 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Сінчуком О.М.

ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СУДНОВИХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРІВ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ

О. Р. Миська, асп., А. О. Дранкова, к.т.н., доц., О. В. Глазева, к.т.н., доц.

Одеська національна морська академія

вул. Дідрихсона, 8, 65029, м. Одеса, Україна

E-mail: sanya-taku@rambler.ru

Розглядається проблема підвищення ефективності систем діагностики технічного стану судових дизель-генераторів (СДГ). Обґрунтовано перехід від принципів експлуатації за призначеними ресурсними показниками СДГ до експлуатації по їх технічному стану. Запропоновано використовувати методи трендового аналізу як методи аналізу статистичних даних у системах діагностики технічного стану СДГ. Проаналізована ефективність і надійність вживання деяких критеріїв тренду для реальних даних, а саме, температур випускних газів циліндрів СДГ.

Ключові слова: технічна діагностика, миттєві ряди, трендовий аналіз, критерії тренда.

DIAGNOSTICS A TECHNICAL STATE OF SHIP DIESEL-GENERATORS DURING EXPLOITATION

A. Miska, post-grad., A. Drankova, Cand.Sc. (Eng.), Assoc. Prof., O. Glazeva, Cand.Sc. (Eng.), Assoc. Prof.

Odessa National Maritime Academy

vil. Didrikhsona, 8, 65029, Odessa, Ukraine

E-mail: sanya-taku@rambler.ru

The problem of efficiency increase of the technical state diagnostics systems of the ship diesel-generators (SDG) is examined. A transition is grounded from principles of exploitation on the appointed resource indexes of SDG to exploitation on their technical state. It is suggested to use the methods of trend analysis as methods of analysis the statistical data in the diagnostics systems of the SDG technical state. Efficiency and reliability of application a some criteria of trend analysis for the real information, for example, final gases temperatures of SDG cylinders.

Key words: technical diagnostics, time-series, trend analysis, trend criteria.