

И.М. Гвоздева, В.В. Демиров

## АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК В ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Аннотация.* В статье рассмотрен трендовый анализ временных рядов параметров, характеризующих температурные режимы судовых дизель-генераторных установок в процессе их длительной эксплуатации. Анализ выборки на статистическую однородность выполнен по критерию Колмогорова-Смирнова. Получены распределения коэффициента взаимной корреляции температуры и тока нагрузки по Авыборке для каждого из цилиндров анализируемой дизель-генераторной установки. Построена статистическая модель зависимости номинальной средней температуры от нагрузки дизель-генераторной установки. При построении признакового пространства в качестве его элементов приняты отклонения температуры от статистической модели.

*Ключевые слова:* дизель-генераторная установка, диагностирование, трендовый анализ, признаковое пространство, статистическая модель.

### Введение

Важной научно-технической проблемой продления жизненного цикла дизель-генераторных установок (ДГУ), входящих в состав современных судовых электроэнергетических систем (СЭЭС), является обеспечение требуемой эксплуатационной надежности. Решение указанной проблемы достигается путем перехода к эксплуатации объектов СЭЭС по их техническому состоянию, что, в свою очередь, требует совершенствования, как методов технического контроля текущего состояния указанных объектов, так и методов долгосрочного прогнозирования их технического состояния. Технологии диагностирования и контроля технического состояния развиваются по двум направлениям, первое из которых нацелено на развитие автоматических систем безопасного управления контролируруемыми объектами, а второе – на совершенствование процессов обслуживания и ремонта.

К методам диагностирования, применяемым при планировании работ по обслуживанию и ремонту судовых ДГУ, предъявляются ряд

взаимно противоречивых требований по глубине диагностирования, по скорости принятия решений и по точности диагноза и прогноза. Одной из основных задач прогнозирования технического состояния судовых ДГУ является обнаружение опасных дефектов на начальной стадии их развития с целью предотвращения возникновения отказов.

Ключевым моментом в сближении двух направлений диагностики является потребность устанавливать на наиболее ответственные агрегаты стационарные системы общего мониторинга состояния для решения проблем предупреждения аварийных ситуаций, возникающих из-за ошибок управления, без преждевременной остановки агрегата. Время, отводимое на принятие решений в таких системах, в несколько раз больше, чем в системах аварийной защиты, что позволяет дополнить ее различными алгоритмами контроля и прогнозирования, при этом объём используемой диагностической информации увеличивается в несколько раз. Это, в свою очередь, позволяет повысить достоверность прогнозов технического состояния судовых ДГУ.

**Обзор известных решений.** Методы трендового контроля, применяемые в современных судовых системах технической диагностики и контроля (СТДК), позволяют установить лишь факт отклонения регистрируемых параметров от их номинальных значений [1–4], но не позволяют дать прогнозную оценку изменения контролируемых параметров и возможного состояния установки. К таким СТДК относится система DATACHIEF C20 компании KONGSBERG, которая предназначена для контроля текущих параметров оценки технического состояния [4] судовых энергетических установок (СЭУ). Принцип работы известной [5] судовой системы диагностики FAKS (Fault Avoidance Knowledge System) основан на применении методов экспертной оценки возникающих изменений технического состояния СЭУ. Мониторинговая система диагностики “Watch free system WE22”, разработанная компанией TERASAKI, выполняет функции удаленного мониторинга СЭУ и контроля текущих значений параметров, определяющих их техническое состояние [6].

С другой стороны, в ряде работ [7–10] предложено использование методов анализа временных рядов регистрируемых параметров для решения задач прогноза состояния сложных технических объектов, что позволяет расширить признаковое пространство принятия

решений и, тем самым, повысить надежность диагностических выводов.

**Целью работы** является дисперсионный и трендовый анализ температурных режимов судовых дизель-генераторных установок в длительной эксплуатации, отыскание элементов признакового пространства для последующей оценки и прогнозирования их технического состояния.

### Основная часть

В качестве исходных данных рассматривались параметры посуточной регистрации состояния судовых дизель-генераторных установок (ДГУ) HFC5 710-14 L мощностью 1875 кВт, общий объем выборки составлял 62 суточных среза по 23 параметрам, в том числе текущие значения температур газов для цилиндров двигателя. Обработка данных параметров регистрации технического состояния ДГУ проводилась в следующей последовательности: предварительный просмотр и сортировка данных; цензурирование выборки; исследование зависимостей; построение статистической модели; построение признакового пространства; трендовый анализ; формирование диагностического сообщения.

Анализ данных параметров регистрации технического состояния ДГУ показал, что начиная с 03.04.2016 г. произошло резкое изменение условий эксплуатации, что иллюстрирует, в частности, график изменения мощности, представленный на рис. 1.

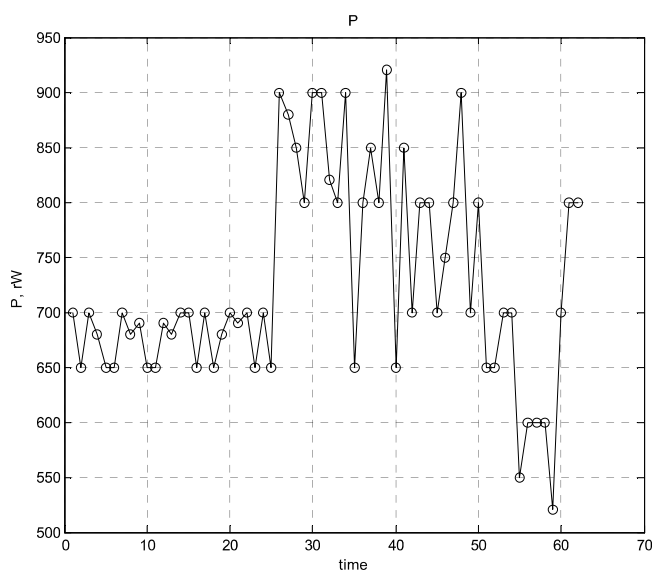


Рисунок 1 - Изменение мощности ДГУ

Выборка была разделена на две части и в последующем детальному анализу подвергалась лишь вторая ее часть, как наиболее информативная, характеризующаяся значительными изменениями нагрузки ДГУ. На основе анализа выборки данных было установлено, что в процессе эксплуатации включались различные ДГУ, поэтому для анализа температурных режимов были оставлены данные лишь по ДГУ № 2, как наиболее представительные. Выборка составила 37 суточных срезов, ее отличительной особенностью является неравномерность снятия данных во времени.

Последующий анализ выборки на статистическую однородность позволил установить два среза, которые по критерию Колмогорова-Смирнова существенно отличались от других. Выбросы, не соответствующие свойствам выборки, были исключены при последующем анализе.

Следующим этапом является корреляционный анализ многомерного массива данных.

Распределения коэффициента взаимной корреляции температуры и тока нагрузки по выборке для каждого из цилиндров приведены на рис. 2. Установлено, что корреляционных связей тока нагрузки с другими параметрами нет.

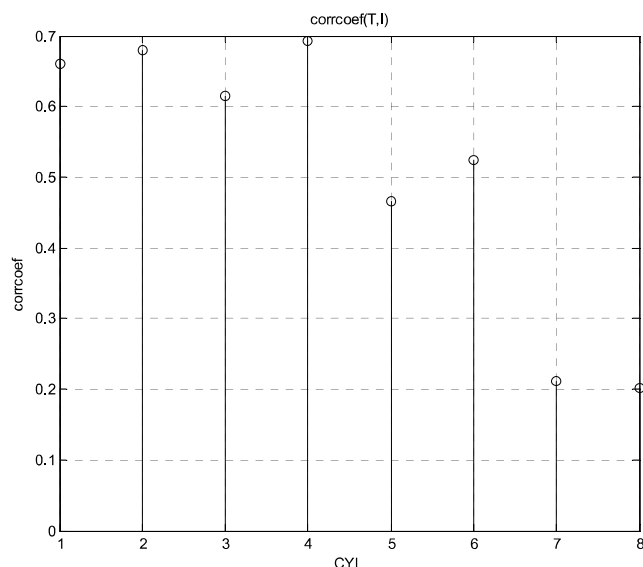


Рисунок 2 - Распределение коэффициента взаимокорреляции температуры и тока нагрузки для каждого из цилиндров

Как это следует из результатов корреляционного анализа, закономерности изменения температуры для цилиндров № 7 и № 8 су-

щественно отличаются. Для построения статистической модели выбрана группа первых четырех цилиндров. Зависимость средней температуры от нагрузки по этим цилиндрам представлена на рис. 3 вместе с ее аппроксимацией.

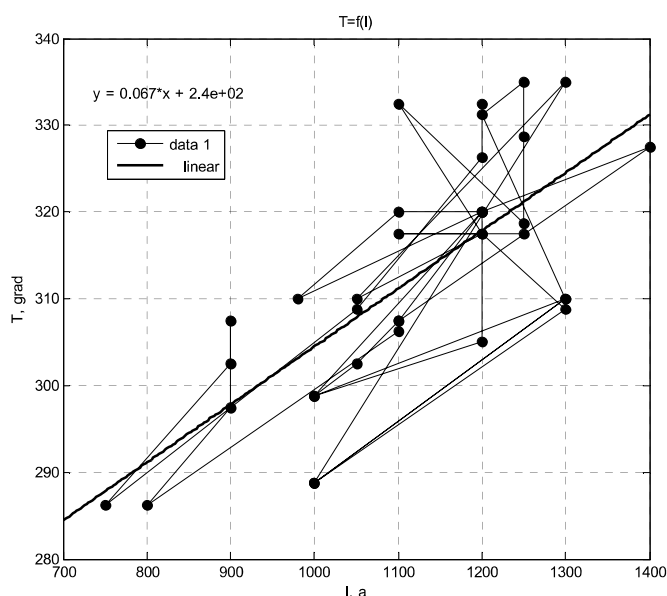


Рисунок 3 - Зависимости средней температуры от тока нагрузки и ее аппроксимация

В качестве аргумента графика средней температуры (рис.3) выбран ток нагрузки, поскольку данные регистрации мощности имеют слишком большую цену деления. Для построения статистической модели была использована линейная аппроксимация, поскольку повышение порядка полинома статистической модели не приводит к уменьшению дисперсии ошибки аппроксимации.

При построении признаков пространства в качестве его элементов приняты отклонения температуры по каждому из 8 цилиндров ДГУ от статистической модели. Как это следует из результатов анализа, временные зависимости отклонений температур от статистической модели для цилиндров 7 и 8 существенно отличаются от временных зависимостей цилиндров 1...6.. Временные ряды отклонений температур от статистической модели для цилиндров 1...6 имеют постоянные первые два момента (среднее и дисперсию) и являются стационарными. Напротив, отклонения температуры от статистической модели для цилиндров 7 и 8 имеют явно выраженный тренд с положительным градиентом. На рис. 4 и рис. 5 приведены такие отклоне-

ния для цилиндров 7 и 8. Ограниченный объем анализируемой выборки не позволяет выполнить интервальную оценку первых, вторых и смешанных моментов на достаточно высоком уровне статистической значимости.

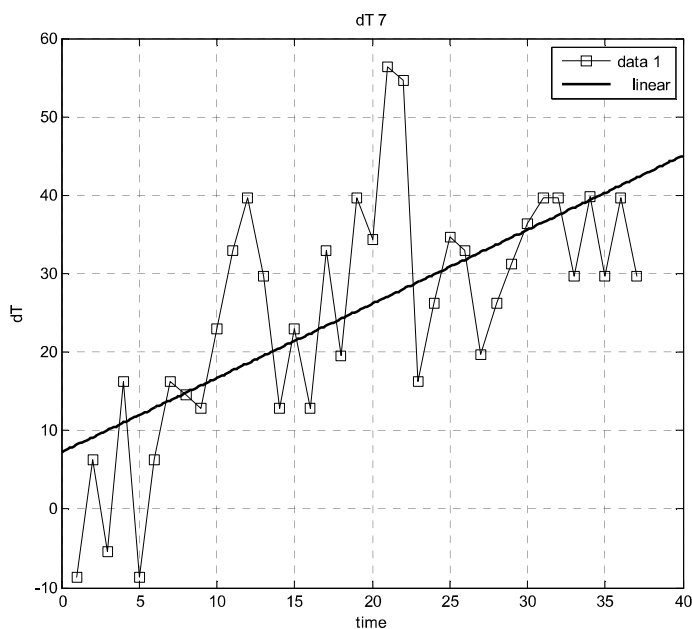


Рисунок 4 - Зависимости отклонений температуры для цилиндра 7 вместе с линейным трендом

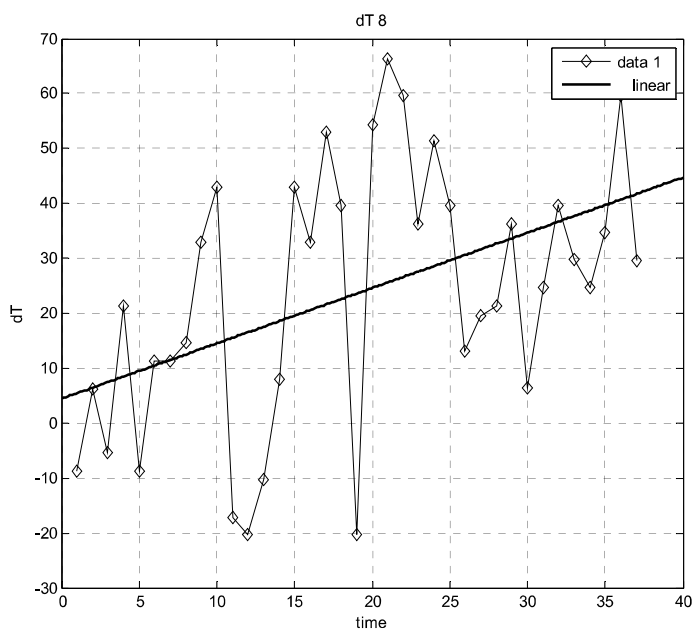


Рис. 5 Зависимости отклонений температуры для цилиндра 8 вместе с линейным трендом

### Выводы и перспективы дальнейших исследований

Проведенный предварительный анализ температурных режимов судовых дизель-генераторных установок позволил расширить признаковое пространство для последующей оценки и прогнозирования их технического состояния. На основе проведенного анализа временных рядов можно предложить диагностическое сообщение о ненормальном функционировании цилиндров 7 и 8 исследуемого дизель-генератора.

Перспективы дальнейших исследований заключаются в усовершенствовании методов трендового контроля и анализа временных рядов параметров регистрации технического состояния судовых ДГУ с учетом наличия тренда, связанного с выработкой их ресурса в результате долговременной эксплуатации.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Wartsila 2 stroke engines Manual “Operator flexView”. – Switzerland, 2008. – P. 152.
2. Wartsila RT-flex82C Operating manual “Marine”.–2009. – Rev2.3.1.–P. 42.
3. Гвоздева И.М. Трендовый контроль в современных системах диагностики судовых энергетических установок / И.М. Гвоздева, В.В. Демиров // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон. – 2016. – С. 191–194.
4. Kongsberg Norcontrol marine automation systems. – Norway, 2005. – 140 р.
5. Электронный ресурс.  
[http://www.eurostarltd.net/prog/voznitskii\\_sredneoborotnye.htm](http://www.eurostarltd.net/prog/voznitskii_sredneoborotnye.htm).
6. Варбанец Р.А. Системы компьютерной диагностики судовых дизелей / Р.А. Варбанец. – Одесса: Судоходство, 2004. – С. 24–27.
7. Миргород В.Ф. Применение методов трендового анализа в задачах диагностики авиационных двигателей / В.Ф. Миргород // Основные результаты научно-технической деятельности: Сб. научн. тр. . – Одесса: АО “Элемент, 2008. – С. 218–226.
8. Миргород В.Ф. Прогноз поведения временных рядов в задачах оценки технического состояния ГТД / В.Ф. Миргород, Е.В. Деренг // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков, 2014. – №10(117). – С. 165–168.
9. Миргород В.Ф. Оценка доверительных интервалов трендовой компоненты временных рядов / В.Ф. Миргород, Е.В. Деренг // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков, 2014. – №7(114). – С. 175–179.
10. Миргород В.Ф. Многомерный трендовый анализ временных рядов в задачах оценки технического состояния / В.Ф. Миргород, И.М. Гвоздева // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков, 2012. – С. 241–244.