

*В.В. Демиров, И.М. Гвоздева*

## ПРОБЛЕМЫ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК

*Рассматривается проблема перехода от эксплуатации по назначенному ресурсу к эксплуатации по техническому состоянию судовых дизель-генераторных установок. В статье проведен обзор систем управления и диагностирования судовых дизель-генераторных установок, проанализированы используемые в них методы трендового контроля, выявлены их недостатки. Выполнен трендовый анализ данных параметров регистрации технического состояния судовых дизель-генераторных установок в длительной эксплуатации. Предложено усовершенствование методов трендового контроля, используемых в системах технической диагностики судовых дизель-генераторов, с целью повышения их эффективности, в направлении применения многомерных статистик.*

### Введение

В настоящее время эксплуатация судовых дизель-генераторных установок (ДГУ) производится по назначенному ресурсу. Для увеличения жизненного цикла и снижения финансовых затрат на обслуживание и ремонт ДГУ целесообразным является переход к эксплуатации сложных технических объектов по техническому состоянию, в связи с чем возникает проблема повышения требований к эксплуатационной надежности современных судовых ДГУ, а, следовательно, к улучшению эффективности систем технического диагностирования (СТД). Решение указанной проблемы требует создания индивидуализированных моделей ДГУ [1] и усовершенствования методов трендового контроля, являющихся основой алгоритмов работы СТД, на основе использования современных информационных технологий.

### Формулирование проблемы

Методы трендового контроля, используемые в современных СТД судовых ДГУ, позволяют выявить только факт отклонения контролируемых параметров от их номинальных значений [2–4], что не дает возможность определить степень возникшей тенденции к изменению контролируемых параметров и спрогнозировать оценку возможного изменения технического состояния. Использование современных методов оценки технического состояния ДГУ в системах технического диагностирования (рис.1) позволяет минимизировать время поиска неисправностей двигателя в десятки раз. Применение СТД при эксплуатации судовых ДГУ дает возможность достичь повышения экономичности на 2 – 3 %, увеличения ресурса на – 20 – 50 %, снижения затрат на запасные части – до 10 – 15 % [5]. С этой целью возникает необходимость усовершенствования методов трендового контроля заложенных в основу алгоритмов работы СТД и использования дополнительных электронных устройств наряду со стандартными контрольно-измерительными приборами.

На современных судах зарубежной постройки широкое распространение получили такие системы контроля и диагностики, как DATA CHIEF C20 компании KONGSBERG, которая позволяет контролировать текущие параметры оценки технического состояния дизель-генераторов [6], кроме того, реализована функция аварийно-предупредительной сигнализации. Указанная СТД дает возможность осуществлять дистанционное диагностирование с берега для непосредственного наблюдения за эксплуатацией и обслуживанием объекта. Система диагностирования и мониторинга компании TERASAKI “Watch free system WE22” выполняет функции контроля технического состояния ДГУ и оповещения о выходе контролируемого параметра за установленные пределы. Вместе с тем в указанной системе предусматривается возможность вывода информации о текущем состоянии дизельной установки, управления вспомогательными механизмами, функция обмена информацией между операторскими станциями. В рассматриваемой СТД также предусмотрен подсчет часов работы механизмов, по которым устанавливается необходимость их текущего ремонта. Система WECS (Wartsila Engine Control System) компании Wartsila (рис.2), осуществляет функцию контроля текущего технического состояния ДГУ на основе регистрации изменения основных контролируемых параметров, характеризующих их функционирование [7,8].

В работах [9,10] предложено использование новых методов анализа временных рядов для прогнозирования состояния сложных технических объектов, что позволяет расширить признаковое пространство принятия решений и, как следствие, повысить надежность диагностических выводов.

Обзор систем технического диагностирования и контроля указывает на значительное влияние качества контрольно-измерительных приборов и алгоритмов их работы на надежность информации о состоянии контролируемого объекта.

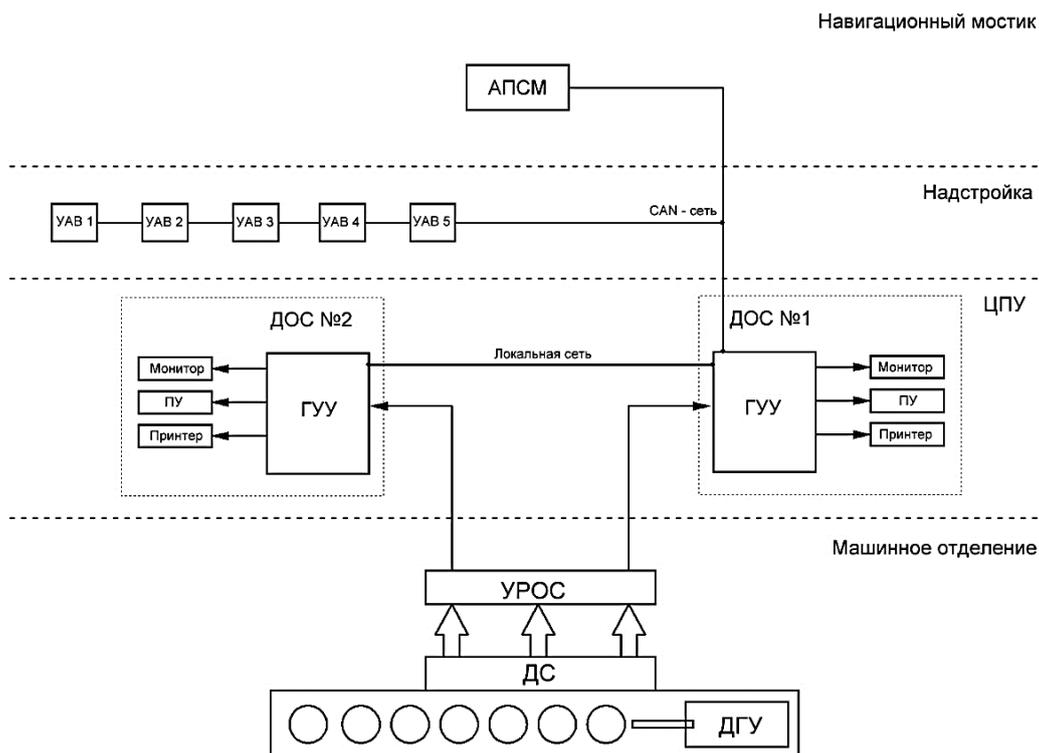


Рис. 1. Структурная схема электронной системы диагностики и управления ДГУ:

ДГУ – дизель-генераторная установка; ДС – датчики сигналов; УРОС – устройства распределенной обработки сигналов; ДОС – дистанционная операторская станция; ГУУ – главное управляющее устройство (компьютер); ПУ – панель управления; УАВ 1-5 – устройства автоматического вызова вахтенного персонала; АПСМ – аварийно-предупредительная сигнализация на мостике; ЦПУ – центральный пост управления

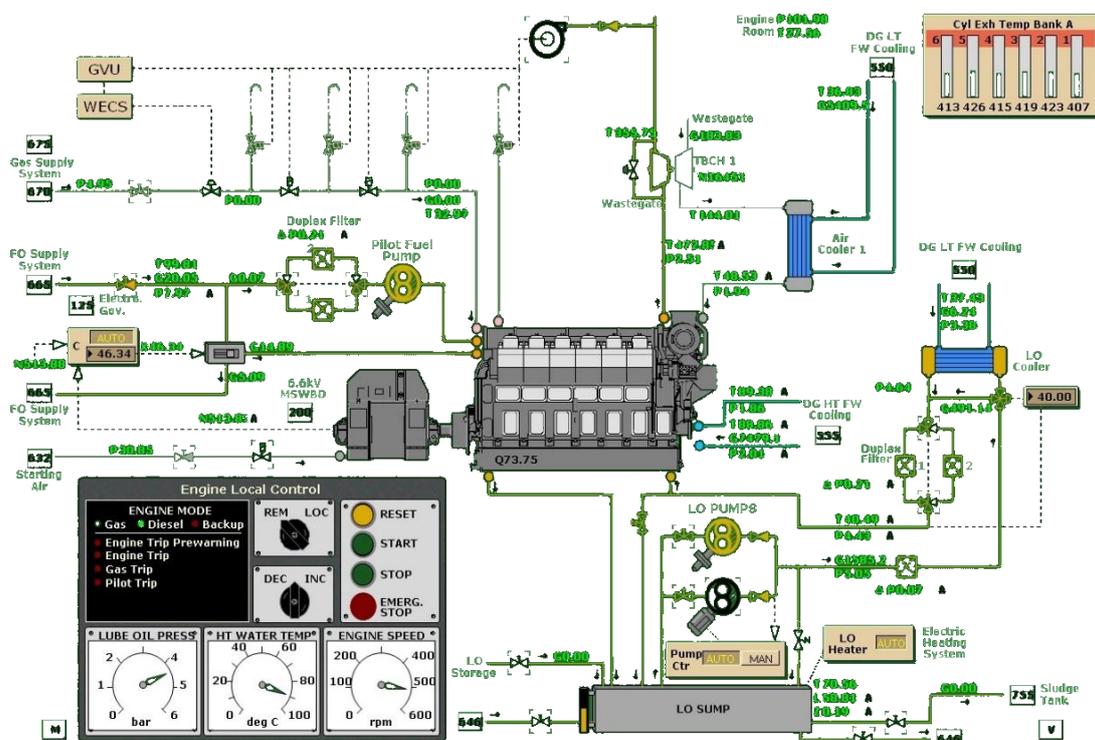


Рис. 2. Структурная схема системы Wartsila Engine Control System

Методы трендового контроля, используемые в СТД современных судов, позволяют установить лишь факт отклонения регистрируемых параметров оценки технического состояния ДГУ от номинальных значений и не учитывают наличие естественного тренда, связанного с выработкой ресурса. В связи с этим необходимо решение важной научно-технической задачи, направленной на усовершенствование критериев трендового контроля с учетом наличия естественного тренда диагностических параметров.

**Решение проблемы**

Для решения проблемы перехода от эксплуатации по назначенному ресурсу к эксплуатации по техническому состоянию судовых ДГУ требуется анализ данных параметров их эксплуатации с целью отыскания элементов признаков пространства для возможности последующей реализации функций оценки и прогнозирования её технического состояния. Для этого на судне-контейнеровозе MSC Gianna проводились измерения параметров посуточной регистрации судовых ДГУ фирмы HYUNDAI HFC5 710-14L, мощностью 1875 кВА, в период с 03.02.16 по 08.05.16. Выборка измеряемых параметров, к которым относятся температура выхлопных газов каждого цилиндра ДГУ, температура охлаждающей воды, давление охлаждающей воды, давление топлива, температура топлива, давление масла, температура масла, ток, напряжение,

мощность, частота, температура окружающей среды, составила 62 суточных среза. В связи с эксплуатацией судна на разных режимах работы (табл. 1) включались различные ДГУ, что приводит к неравномерности выборки.

Таблица 1. Режимы работы СЭЭС

Режимы работы СЭЭС	Полная мощность	Количество работающих генераторов
Ходовой	800кВт	1(главный)
Маневренный	1800кВт	2(главных)
Стоянка	600кВт	1(главный)
Аварийный	150кВт	1(аварийный)

В течение рассматриваемого периода ДГУ №2 эксплуатировалась более длительное время, поэтому для анализа была оставлена выборка данных, характеризующих её состояние. Анализируемая выборка состоит из 37 срезов, ее характерной чертой является неравномерность снятия данных во времени. Анализ указанной выборки на статистическую однородность позволил выявить два среза, которые по критерию Колмогорова-Смирнова значительно отличаются от других. На рис. 3 приведена зависимость средней по цилиндрам температуры.

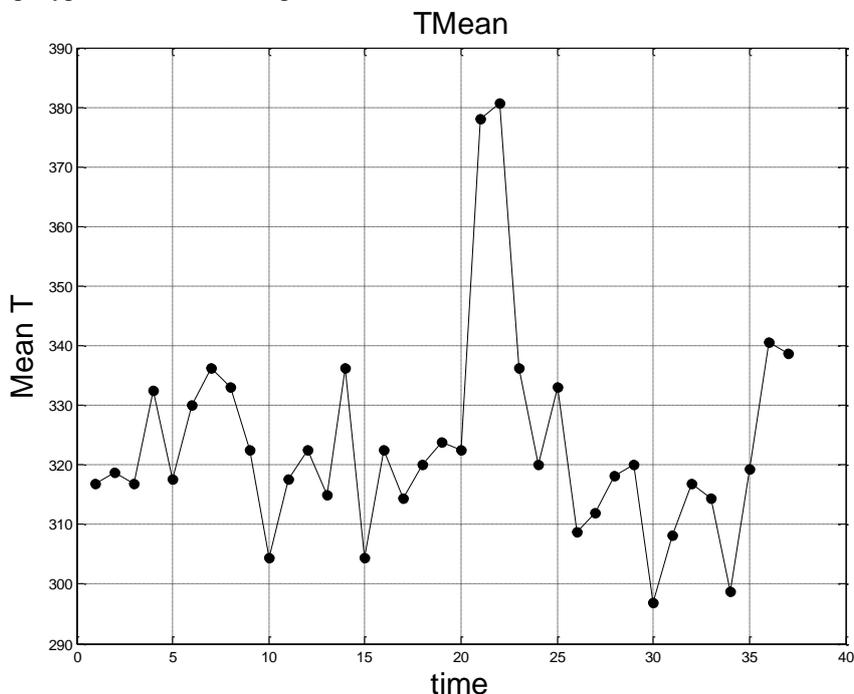


Рис. 3. Изменение средней по цилиндрам температуры ДГУ

Выбросы, отличающиеся от общих статистических свойств выборки, были исключены из дальнейшего анализа. На рис. 4 приведена зависимость

усредненной по цилиндрам температуры выхлопных газов дизель-генераторной установки после цензурирования.

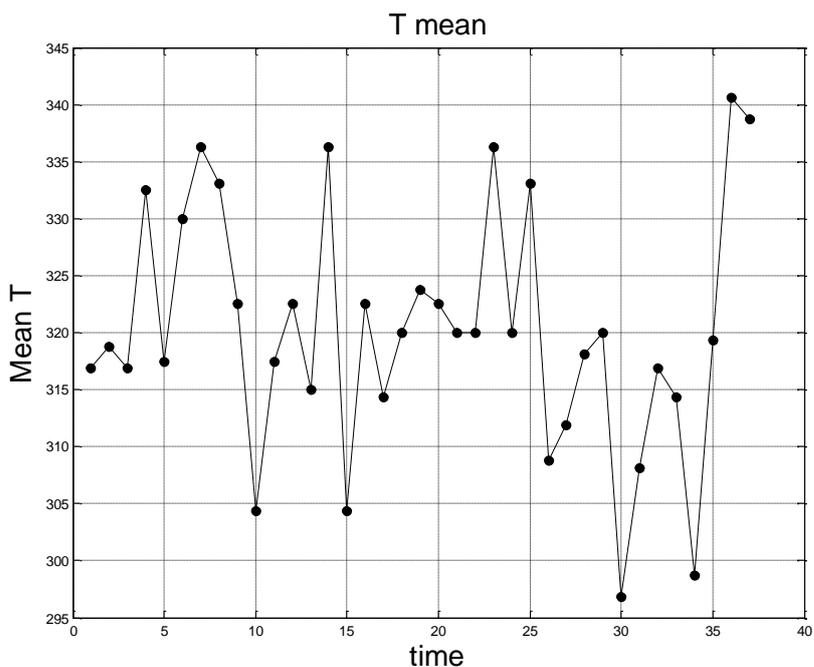


Рис. 4. Изменение средней по цилиндрам температуры ДГУ после цензурирования

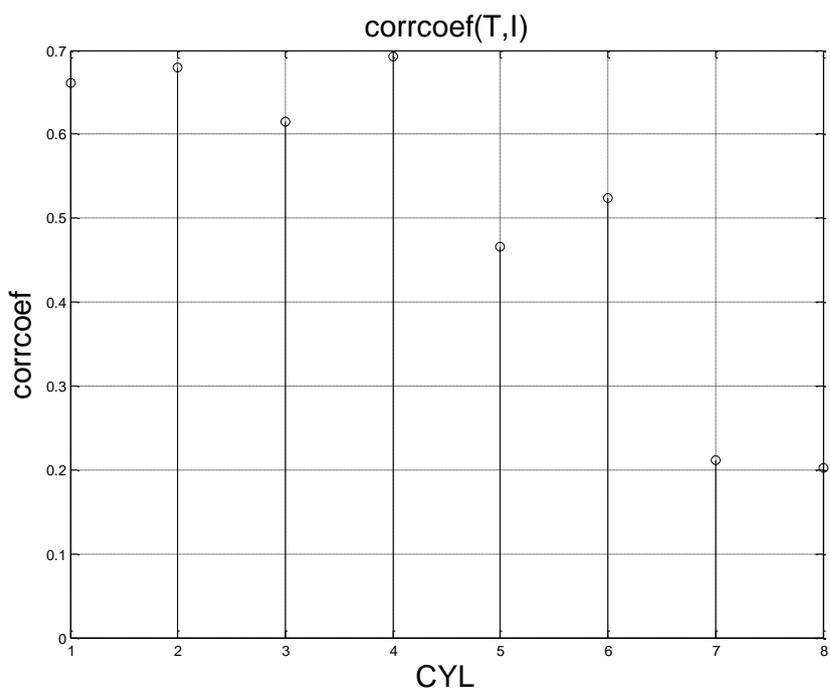


Рис. 5. Распределение коэффициента взаимокорреляции температуры и тока нагрузки для каждого из цилиндров

По результатам проведенного анализа видно, что закономерности изменения температуры для цилиндров №7 и №8 значительно отличаются от закономерностей изменения температуры для других цилиндров ДГУ (рис. 5). Для построения статистической модели (СМ) взаимозависимости средней температуры по цилиндрам от тока нагрузки выбрана группа первых четырех цилиндров, как имеющая наибольшую статистическую связь с изменением нагрузки.

Для построения признакового пространства в качестве элементов принимались отклонения температуры по каждому из цилиндров ДГУ от статистической модели. На рис. 6 приведены такие отклонения для каждого из цилиндров.

Как следует из результатов анализа и рис. 7, графики отклонений температур от СМ для цилиндров 7 и 8 существенно отличаются от графиков отклонений температур от СМ для 1-6 цилиндров.

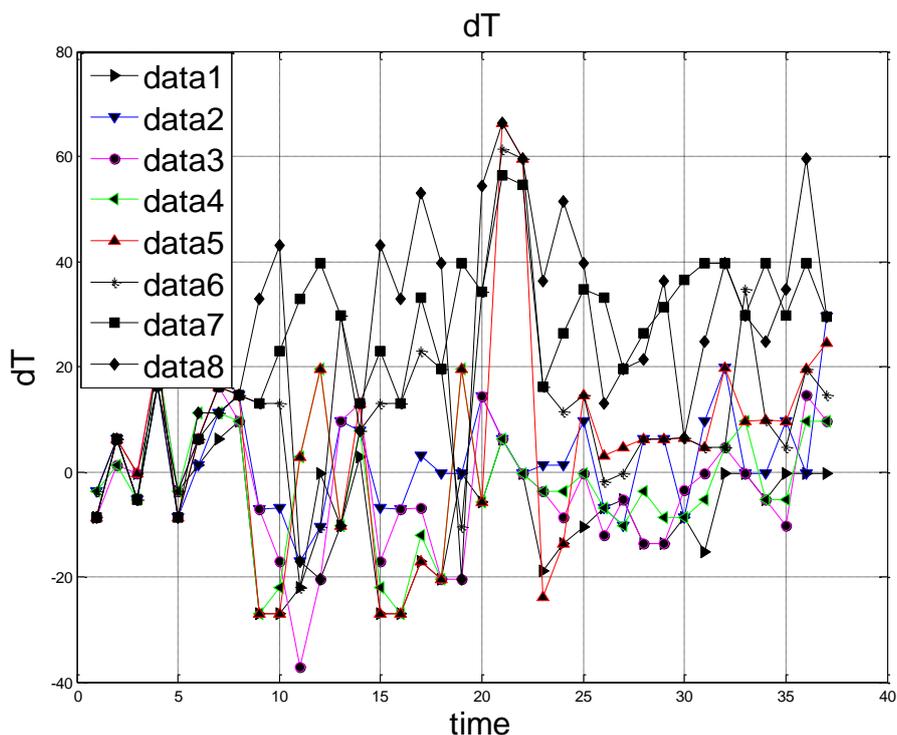


Рис. 6. Зависимости отклонений температуры от СМ для каждого из цилиндров

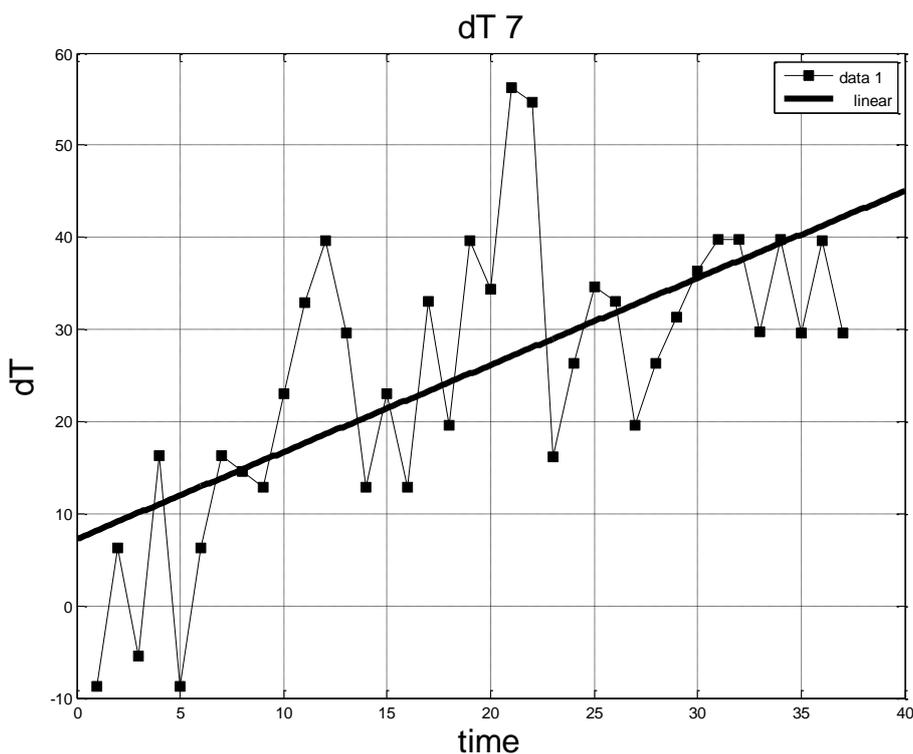


Рис. 7. Зависимости отклонений температуры для цилиндра 7 вместе с линейным трендом

На основе проведенного предварительного трендового анализа данных параметров регистрации технического состояния ДГУ можно предположить ненормальное функционирование цилиндров 7 и 8, в связи с чем требуется проведение внеплановых обслуживающих или ремонтных работ с

выводом из эксплуатации.

**Заключение**

В качестве дальнейших исследований необходимо проанализировать данные параметров ДГУ различных судов, что позволит обобщить полученные результаты. Представляется перспективным

применение новых методов трендового анализа временных рядов, учитывающих наличие естественного тренда параметров, связанного с выработкой ресурса при длительной эксплуатацией указанного объекта, с целью повышения эффективности эксплуатации судовых ДГУ путем обнаружения опасных дефектов на начальной стадии их развития.

**Список литературы:**

1. Миргород В.Ф. Эквивалентные формы линейных математических моделей процессов управления объектами энергетики / В.Ф. Миргород, И.М. Гвоздева // *Электромашинобудування та електрообладнання*. – 2010. – Вип. 76. 2. Wartsila 2 stroke engines Manual “Operator flexView”. – Switzerland, 2008. – P. 152. 3. Wartsila RT-flex82C Operating manual “Marine”. – 2009. – Rev 2.3.1. – P. 42. 4. 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. 5. Епифанов С.В. Синтез систем управления и диагностирования газотурбинных двигателей / С.В. Епифанов, В.И. Кузнецов, И.И. Богаенко и др. – К.: Техника, 1998. – 312 с. 6. Kongsberg Norcontrol marine automation systems. – Norway, 2005. – 140 p. 7. *The MotorShip, insight for marine technology professionals* [Электронный ресурс]: журнал. – Режим доступа: <http://www.motorship.com/news101/industry-news/simulator-for-dual-fuel-d-e-lng-ships>. – 12.12.2011 8. Варбанец П.А. Системы компьютерной диагностики судовых дизелей / П.А. Варбанец. – Судходство. – Одесса, 2004. – С. 24–27. 9. Миргород В.Ф. Оценка достоверных интервалов трендовой компоненты временных рядов / В.Ф. Мир-

город, В.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.

**Bibliography (transliterated):**

1. Mirgorod V.F. Jekvivalentnye formy linejnyh matematicheskih modelej processov upravlenija obektami jenergetiki [Equivalent forms of mathematical models of control processes of energetic objects]. *Elektromashinobuduвання ta elektroobladnannya*, 2010, vip. 76. 2. Wartsila 2 stroke engines Manual “Operator flexView”. Switzerland, 2008, p. 152. 3. Wartsila RT-flex82C Operating manual “Marine”. 2009, rev 2.3.1., p. 42. 4. Gvozdeva I.M. Trendovyy kontrol' v sovremennyh sistemah diagnostiki sudovyh jenergeticheskikh ustanovok [Trend control methods in the modern ships power plants diagnostic systems]. *Visnik Hersons'kogo nacional'nogo tehničnogo universitetu*, Kherson, 2016, pp. 191–194. 5. Epifanov S.V. Sintez sistem upravlenija i diagnostirovanija gazoturbinnnyh dvigatelej [Synthesis of gas turbine engines control and diagnostics systems]. K.: *Tehnika*, 1998, 312 s. 6. Kongsberg Norcontrol marine automation systems. Norway, 2005. p. 140 7. *The MotorShip, insight for marine technology professionals*. Available at: <http://www.motorship.com/news101/industry-news/simulator-for-dual-fuel-d-e-lng-ships>. – 12.12.2011 8. Varbanec R.A. Sistemy komp'juternoj diagnostiki sudovyh dizelej [Vessel's diesel engines computer diagnostics systems]. *Sudohodstvo*, Odessa, 2004, pp. 24–27. 9. Mirgorod V.F. Ocenka doveritel'nyh intervalov trendovoj komponenty vremennyh rjadov [Confidence intervals estimation of the trend component of time series]. *Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnologija*, Har'kov, 2014, №7(114). – pp. 175–179. 10. Mirgorod V.F. Mnogomernyj trendovyy analiz vremennyh rjadov v zadachah ocenki tehničeskogo sostojanija [Multidimensional trend analysis of temporary series in the tasks of evaluation of technical condition]. *Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnologija*, Har'kov, 2012. – pp. 241–244.

Поступила в редакцию 22.06.2017 г.

**Гвоздева Ирина Маратовна** – профессор Национального университета «Одесская морская академия», Одесса, Украина, e-mail: onorchenko.im@gmail.com.

**Демиров Владислав Викторович** – аспирант Национального университета «Одесская морская академия», Одесса, Украина, e-mail: demirov.vlad@gmail.com.

**ПРОБЛЕМИ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТА ДІАГНОСТИКИ СУДНОВИХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНИХ УСТАНОВОК**

*В. В. Демиров, І. М. Гвоздева*

Розглядається проблема переходу від експлуатації за призначенням ресурсом до експлуатації за технічним станом судових дизель-генераторних установок. У статті проведено огляд систем управління і діагностування судових дизель-генераторних установок, проаналізовані використовувані в них методи трендового контролю, виявлено їх недоліки. Виконано трендовий аналіз даних параметрів реєстрації технічного стану судових дизель-генераторних установок в тривалій експлуатації. Запропоновано удосконалення методів трендового контролю, використовуваних в системах технічного діагностування судових дизель-генераторів, з метою підвищення їх ефективності, в напрямку застосування багатовимірних статистик.

**IMPROVEMENT PROBLEMS OF DIESEL-GENERATOR SETS CONTROL AND DIAGNOSTIC SYSTEMS**

*V. V. Demirov, I. M. Hvozdeva*

The problem of the transition from designated resource maintenance to condition based maintenance of the ship diesel-generator sets is considered. The article reviews the control and diagnostic systems of ship diesel-generator sets, the trend control methods used in them have been analyzed, their shortcomings have been revealed. The trend analysis of the technical conditions of registration of parameters of marine diesel generator sets in a long-term operation has been performed. The improvement of the methods of trend control used in the systems of technical diagnostics of marine diesel generators with the aim of increasing of their efficiency has been suggested, in the direction of using of multidimensional statistics.