

УДК 65.018

В.В. Вычужанин, С.Д. Коновалов, Н.О. Шibaева

**ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА, ДИАГНОСТИКИ  
И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ СУДОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*В статье приведены результаты анализа проблем дистанционного мониторинга, диагностики и прогнозирования состояния судовых технических систем. Изложены рекомендации по возможному решению изученных проблем.*

**Ключевые слова:** судовые технические системы, мониторинг, диагностика, моделирование, прогнозирование.

*У статті наведено результати аналізу проблем дистанційного моніторингу, діагностики та прогнозування стану судових технічних систем. Викладено рекомендації по можливому вирішенню вивчених проблем.*

**Ключові слова:** суднові технічні системи, моніторинг, діагностика, моделювання, прогнозування.

*The results of the analysis of the problems of remote monitoring, diagnostics and prognosis of ship engineering systems. The recommendations on possible resolution of the problems studied.*

**Keywords:** ship engineering systems, monitoring, diagnostics, modeling, prognosis.

**Введение.** Анализ опыта эксплуатации судовых технических систем (ТС) свидетельствует о том, что одной из основных причин нештатных ситуаций, аварий при эксплуатации ТС являются неправильные или не своевременные решения принятые обслуживающим персоналом в таких ситуациях, т.е. «человеческий фактор». Для принятия эффективных решений, связанных с управлением судовыми ТС, необходимо обеспечение лиц, задействованных на разных уровнях управления системами полной, достоверной и качественной информацией о текущем состоянии элементов и всех систем в целом, а также прогнозирование их технического состояния [1, 2]. Такой подход нуждается в обработке значительного объема информации, поступающей от систем контроля ТС, оценке ситуации и принятии решения в условиях дефицита времени.

**Актуальность.** Главная проблема обеспечения надежного функционирования судовых ТС – это сложность систем, недостаточная изученность протекающих в них и окружающей среде процессов. Кроме того ограничена возможность проведения активных экспериментов, сложность и несоординированность процесса сбора исходных данных, их

---

© Вычужанин В.В., Коновалов С.Д., Шibaева Н.О., 2015

неполная доступность. Использование автоматизированных компьютеризированных систем для непрерывного или периодического исследования состояния судовых ТС, осуществляющих дистанционный мониторинг, диагностику и прогнозирование ТС, установленных на судах, позволяет эффективно и надежно решать задачи управления такими системами.

**Целью работы** является анализ базовых положений технической диагностики, определение возможных путей решения проблем, возникающих при мониторинге, диагностике и прогнозировании состояния судовых технических систем.

**Изложение основного материала.** Сложности построения систем дистанционного мониторинга, диагностики и прогнозирования (СМДП) судовых ТС определяются сложностью их структур, многоуровневостью, комплексностью, отсутствием проектов реализации на всех уровнях жизненного цикла СМДП.

При всем многообразии СМДП они характеризуются единой типовой структурой (рис. 1) и общими специфическими свойствами, к которым относятся [3-5]:

- удаленность объектов контроля от центров анализа информации и управления;
- разветвленная сеть устройств контроля и наблюдения ТС;
- разнообразие систем передачи и приема информации;
- сложность системы анализа и диагностики информации;
- необходимость системы прогнозирования и принятия решения.

При дистанционном мониторинге (ДМ) возникает ряд проблем, связанных с:

- многочисленными программно-аппаратными средствами, являющимися источниками информации;
- разнообразием информации по физической природе объектов мониторинга;
- оперативным непрерывным контролем, сбором и обработкой данных в реальном времени;
- достоверностью контролируемых параметров и потоков обрабатываемой информации при ДМ ТС;
- оптимизацией мест контроля параметров ТС, количества и типов используемых датчиков;
- обеспечением результативного последующего анализа ДМ ТС;
- поддержанием работоспособности системы ДМ в условиях чрезвычайной ситуации.

Современные теоретические исследования технической диагностики по используемому математическому аппарату делятся на несколько не взаимосвязанных теорий диагностирования: диагностика аналоговых или дискретных объектов, статистическая диагностика, функциональная диагностика, неразрушающий контроль и др.



Рис. 1. Типовая структура СМДП

Каждая из них служит методологической основой лишь определенного направления. Поэтому актуальна проблема выявления базовых положений, способствующая интеграции перечисленных диагностических направлений.

При диагностике судовых ТС применяются различные методы неразрушающего контроля, которые успешно могут быть использованы в СМДП [6-9]. Для некоторых элементов судовых ТС (например, высокооборотные дизели) спектральный анализ виброакустических полей при диагностике технического состояния обладает рядом преимуществ перед традиционными методами диагностики. Основные преимущества метода – это относительная низкая стоимость и простой способ инсталляции виброакустических датчиков. Метод может быть использован в составе дублирующих систем непрерывного мониторинга и диагностики. Для своевременного обнаружения изменений технического состояния каждого агрегата с определением вида дефекта на ранней стадии его развития известно применение системы вибромониторинга и диагностирования «САДКО». Результаты такого диагностирования используются для

оптимизации режимов эксплуатации, определения сроков и объемов ремонтов оборудования [10]. Широко известный метод диагностики судовых ТС количественной термографии электрооборудования. Он эффективен при дистанционном оперативном контроле технического состояния электрооборудования непосредственно под нагрузкой на основе оценок тепловых полей электрических сетей, приборов, агрегатов, электродвигателей и т.п. Однако опыт эксплуатации энергетического оборудования показывает, что тепловизионная диагностика позволяет получить хорошие и плодотворные результаты только в результате внедрения системы мониторинга, диагностирования и прогнозирования для этого оборудования.

Известен метод диагностирования ТС с использованием параметров технологического контроля [11], включающий этапы:

- формирование нормального состояния (рис. 2);
- формирование матрицы диагностических признаков;
- поиск неисправностей (аномалий).

Основные допущения:

- рассматривается стационарное состояние объекта;
- перечень (словарь) состояний считается конечным и уже сформированным.

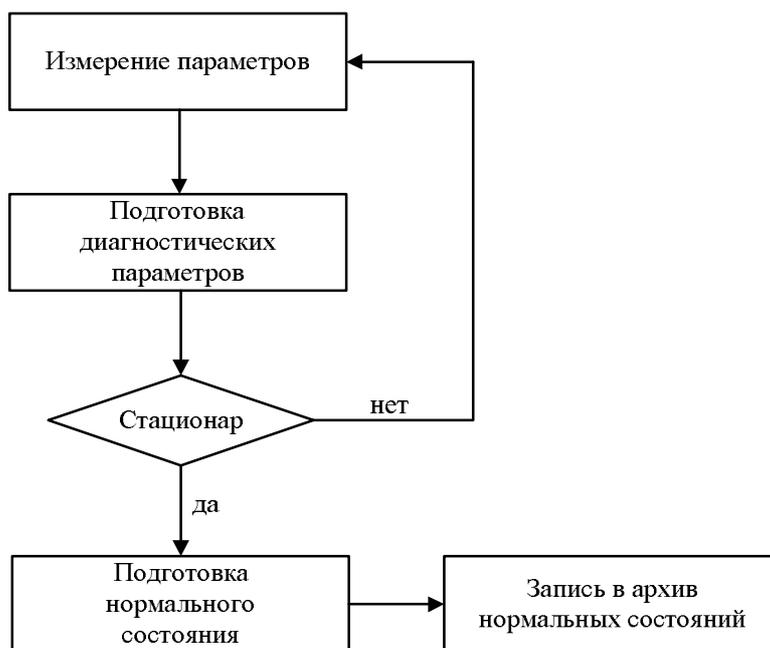


Рис. 2. Блок-схема подготовки нормального состояния

При формировании матрицы диагностических признаков (аномалий) диагностическим признаком является выход любого из диагностических параметров за границу нормального состояния. Определение этих признаков происходит в каждом цикле измерений после определения нормального состояния. Поиск причин появления диагностических признаков осуществляется на основе сравнения матрицы признаков с имеющимся в памяти словарем, в котором каждому состоянию поставлена в соответствие совокупность диагностических признаков, т.е. своя матрица. При этом необходимо учитывать следующие факторы: неисправности измерительных каналов; изменение режима работы объекта.

Известно применение метода группировки контролируемых параметров по принципу близости их физико-химической природы либо их принадлежности к определенному узлу или агрегату (например, дизеля), что систематизирует подход к диагностике, упрощая итоговые функциональные зависимости. Помимо этого метод учитывает влияние отдельных групп параметров, выделяя ту, которая оказывает наибольшее воздействие.

Применение диагностической системы, основанной на принципе скановой съемки наблюдаемых объектов и совместного анализа изображений, получаемых в видимом и тепловом спектральных диапазонах позволяет эффективно решать задачи контроля объектов электроэнергетики и обеспечения безаварийной работы транспорта.

Перспективным направлением при диагностике ТС является использование экспертных систем. В частности интеллектуализация экспертно-диагностического процесса на основе нейросетевого моделирования и нечеткой логики [12-14]. Такого рода системы достаточно давно применяются на практике, однако в большинстве случаев они не обладают необходимой гибкостью и являются изолированными, функционируя в рамках замкнутого вычислительного комплекса и/или используя узкоспециальные алгоритмы.

Последующим этапом после дистанционной диагностики ТС является прогнозирование их технического состояния. Необходимо отметить, что прогноз состояния ТС необходим на всех этапах управления надежностью – от проектирования до эксплуатации систем. При прогнозировании состояния ТС необходимо учитывать:

- для крупных систем, обладающих большой инерционностью развития, прогноз по основным тенденциям изменения временного ряда за прошедшее время, как правило, возможен и реален;
- если параметры тренда ненадежны, ненадежен и прогноз;
- период прогнозирования (срок удаления прогнозируемого уровня во времени от конца базы расчета тренда), должен быть не более трети, в крайнем случае, половины длительности базы.

Решение перечисленных задач позволяет осуществить переход от «реактивного» подхода, т.е. исправление различных неполадок тогда, когда они уже привели к негативным последствиям, к «превентивному»

подходу – устранения неполадок до появления негативных последствий от них на основе прогнозирования состояния объекта или системы. При реализации «превентивного» подхода по предупреждению всевозможных неблагоприятных явлений важно быстрое получение точной и качественной информации по состоянию ТС в целях обладания большим временем на реализацию «превентивных» мероприятий.

Существенной проблемой при прогнозировании состояния ТС становится несоблюдение при разработке подобных систем коррелирующих факторов. Для решения проблемы используется модель авторегрессии, в которой временные ряды анализируются независимо, несмотря на то, что исследуемые характеристики могут коррелироваться. Однако при этом часто не проверяется соблюдение основных предположений регрессионного анализа, а также не используются соответствующие методы адаптации к их нарушениям. Все это в конечном итоге, приводит к погрешностям при прогнозировании ТС.

Кроме того, основные трудности при разработке систем прогнозирования и управления надежностью ТС связаны с тем, что для большинства таких систем исходная информация о закономерностях изменения их параметров чрезвычайно мала. Решение этой проблемы часто находят в использовании классической математической статистики, а также теории случайных функций для закономерностей хорошо изученных и описанных. Однако если объектом прогнозирования является сложная судовая ТС, то установить основную тенденцию изменения временного ряда (тренд) для такой системы за короткий срок практически невозможно.

Для прикладных исследований, например применяется адаптивный алгоритм прогнозирования развития СТ (рис. 3), основанный на междисциплинарном подходе классической теории надежности, а также использовании логико-вероятностных методов. Такой подход позволяет получить реальную методику определения наилучшего значения периода дальнейшей эксплуатации системы, используемого в качестве исходного для принятия решений.

Для прогнозирования ТС известно применение модели «Miracle» (рис. 4), основанной на идеях объектно-ориентированного моделирования, таких как классы объектов, наследование свойств, и др. При этом используются правила-продукции, которые ассоциируются с каждым типом объектов (принцип инкапсуляции в объектно-ориентированной парадигме). Система «Miracle» строит сложноструктурированные модели большой степени сложности с возможностью задания собственной модели поведения для каждого отдельного компонента модели.

Предметная область модели «Miracle» описывается множествами объектов различного типа, каждый из которых соответствует некоторому понятию предметной области с заданием множества правил, отражающих динамику поведения объекта.



Рис. 3. Схема алгоритма прогнозирования состояния ТС

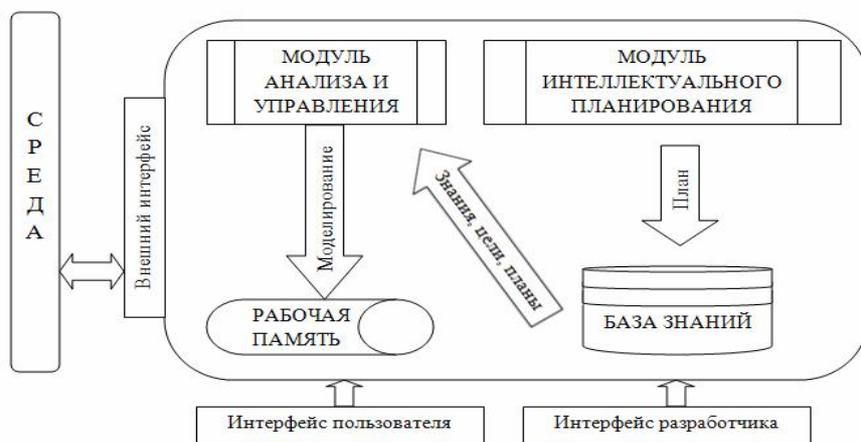


Рис. 4. Архитектура модели «Miracle»

Такой подход позволяет осуществлять построение моделей по принципу «от общего – к частному» – вначале строится общая модель системы, а потом детализируются модели входящих в нее компонент, и «от частного – к общему» – вначале разрабатываются модели элементов системы, а потом на их основе строится общая модель.

Известен метод индивидуального гарантированного прогнозирования, основывающийся на свойствах экстремальных полиномов Карлина и идеях минимального оценивания. Данный метод позволяет получить точные оценки состояния системы и ее отдельных элементов без информации о модели случайных процессов измерения параметров и стохастических свойствах ошибок измерений.

При прогнозировании находят применение методы, основанные на стохастическом моделировании на базе традиционных методов, представляющих собой математическую формализацию и уточнение некоторых концепций технического и фундаментального анализа. Широко используется в настоящее время также метод стабильного индивидуального прогнозирования состояния, основанный на байесовом подходе и робастной статистике. Перспективным методом прогнозирования является симптоматическое прогнозирование, основанное на выявлении причин будущих изменений в ТС. Одним из новых подходов в прогнозировании состояния ТС является нормативное прогнозирование, имеющее целью учет будущих потребностей в технических новшествах для ТС.

Анализ литературных источников показал, что одной из основных проблем при разработке систем ДМ является оценивание показателей качества таких систем. Это актуально для составляющих элементов СМДП – информационных систем, используемых в системах контроля и управления технологическими процессами, функционирующих в режиме реального времени, а также в системах управления различным встраиваемым оборудованием. При этом необходим учет специфики СМДП, качества функционирования информационных систем: время (среднее, максимальное, минимальное) формирования управляющего сигнала после поступления некоторой исходной информации, объем (средний, максимальный, минимальный) используемой памяти при проведении вычислений, достоверность и надежность формируемых решений (управляющих команд).

Информационные технологии мониторинга технического состояния имеют ряд причин, по которым не могут быть совершенными. К некоторым из причин относятся:

- разобщенность баз данных испытаний, контроля и диагностики, отсутствие интеллектуальных компонент, позволяющих качественно и эффективно осуществлять поддержку принятия ответственных решений и, как следствие, сокращать общее время, затрачиваемое на обслуживание;

- нестационарность физических процессов во многих судовых ТС, сложность их математического описания, зависимость технических характеристик от внешних условий работы, ограниченный состав контролируемых параметров систем, их технологический разброс и т.д.

**Выводы.** Для определения возможных путей решения проблем, возникающих при мониторинге, диагностике и прогнозировании состояния судовых ТС необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать методологию построения СМДП состояний ТС;
2. Выполнить оптимизацию параметров мониторинга и синтез параметров настройки моделей СТ;
3. Разработать математические модели функционирования СТ в штатных и нештатных режимах работы;
4. Разработать структуру экспертной системы СМДП состояний ТС;
5. Разработать программное обеспечение экспертной системы СМДП состояний СТ;
6. Оценить эффективность, разработанной экспертной системы СМДП состояний СТ при ее работе в различных эксплуатационных условиях.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кончаков Е.И. *Техническая диагностика судовых энергетических установок: Учебн. пособие/ Е.И. Кончаков.* – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 112 с.
2. Богомолов А.М. *Диагностика сложных систем / А.М. Богомолов, В.А. Твердохлебов.* – К.: Наукова думка, 1974. – 128 с.
3. Ковалев А.О. *Разработка и реализация концепции построения систем дистанционной диагностики транспортно-энергетических объектов: дис. канд. техн. наук: 05.13.01 / А.О. Ковалев.* – Рязань, 2005. – 132 с.
4. Деркач І.І. *Стан та проблеми розвитку автоматизованих систем контролю технічного стану складних технічних систем // Військово-технічний збірник.* – 2013. – С. 20-23.
5. Байхельт Ф. *Надежность и техническое обслуживание. Математический подход / Ф. Байхельт, П. Франкен.* – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.
6. Andersen B.A *Diagnostic System for Remote Real-Time Monitoring of Marine Diesel-Electric Propulsion Systems / Andersen Björn.* – Leipzig, 2011. – 45 p.
7. Krarowski R. *Diagnosis modern systems of marine diesel engine / Rafal Krarowski // Journal of KONES Powertrain and Transport.* – 2014. – P. 191-198.
8. Sørensen A. *Marine Control Systems Propulsion and Motion Control of Ships and Ocean Structures / Asgeir J. Sørensen.* – 2013. – 526 p.

9. *Sekacheva N. Upgrading of the third generation of the Remote Diagnostic Systems for ABB Marine Propulsion Systems / Sekacheva Natalia. – Lappeenranta, 2007. – 77 p.*
10. Мынцов А.А. Стационарная система автоматического диагностирования и контроля оборудования «САДКО» / А.А. Мынцов, О.В. Мынцева, М.В. Кочнев. – <http://www.promservis.ru/paper10.html>.
11. Кувайскова Ю.Е. Прогнозирование состояния технического объекта на основе мониторинга его параметров / Ю.Е. Кувайскова, В.Н. Клячкин, Д.С. Бубырь // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. – 2014. – С. 7616-7626.
12. Баршдорф Д. Нейронные сети и нечеткая логика. Новые концепции для технической диагностики неисправностей // Приборы и системы управления. 1996. – № 2. – С. 48-53.
13. Башлыков А.А. Проблемно-независимая диагностическая экспертная система, учитывающая возможность маскирования симптомов // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. – 1988. – № 2. – С. 145-150.
14. Гаскаров Д.В. Системы прогноза на экспертной основе / Д.В. Гаскаров, В.И. Строганов, В.И. Францев. – СПб.: Энергоатомиздат, 2002. – 218 с.

Стаття надійшла до редакції 16.06. 2015

**Рецензенти:**

доктор технічних наук, професор кафедри «Судноремонт»  
Одеського національного морського університету **В.П. Сторожев**

доктор технічних наук, професор кафедри математичного  
забезпечення Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова  
**Ю.А. Гунченко**