**Хорошев, Николай Иванович. Система поддержки принятия решений при управлении фактическим техническим состоянием электротехнического оборудования на основе адаптивной комплексной модели краткосрочного прогнозирования : диссертация ... кандидата технических наук : 05.13.06 / Хорошев Николай Иванович; [Место защиты: Перм. нац. исслед. политехн. ун-т].- Пермь, 2012.- 167 с.: ил. РГБ ОД, 61 12-5/3296**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»**

**На правах рукописи**

**ХОРОШЕВ НИКОЛАЙ ИВАНОВИЧ**

**СИСТЕМА ПОД ДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ФАКТИЧЕСКИМ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОЙ КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕЛИ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ**

**05 Л3.Об - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в промышленности)**

**Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук**

**Научный руководитель: доктор технических наук, профессор Казанцев В.П.**

**Пермь - 2012**

**СОДЕРЖАНИЕ**

**ВВЕДЕНИЕ 6**

**ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ. АНАЛИЗ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ. НАУЧНАЯ ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ 14**

**1.1 Аналитический обзор современного состояния проблемы 14**

**1.2 Анализ математических методов и моделей прогнозирования 19**

**1.3 Критерии точности математических моделей прогнозирования 35**

**1.4 Постановка цели и задач научных исследований 43**

**Основные результаты главы 45**

**ГЛАВА 2. КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ОПЕРАТИВНЫХ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ 46**

**2.1 Принципы построения концептуальной модели системы поддержки принятия оперативных управленческих решений 46**

**2.2 Формализация структурно-информационных уровней концептуальной модели системы поддержки принятия оперативных управленческих решений 49**

**2.3 Аналитическое описание правил нечеткой логики 53**

**2.4 Принятие оптимальных управленческих решений на основе правил нечеткой логики 56**

**Основные результаты главы 67**

**ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ФАКТИЧЕСКИМ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ**

**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОЙ КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕЛИ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ....68**

**3.1 Методика расчета оптимальных начальных условий 69**

**3.2 Адаптивная комплексная модель краткосрочного прогнозирования 76**

**3.3 Обоснование адаптивных предикторов в составе адаптивной комплексной модели краткосрочного прогнозирования 81**

**3.3.1 Модель Тейла-Вейджа 84**

**3.3.2 Модель Брауна 86**

**3.3.3 Модель Тригга-Лича 88**

**3.3.4 Полиномиальные модели многократного сглаживания 89**

**3.3.5 Модель Хольта-Винтера 91**

**3.3.6 Определение областей применения адаптивных моделей 92**

**3.3.7 Тестирование адаптивной комплексной модели краткосрочного прогнозирования 95**

**3.4 Методика принятия решений при управлении фактическим техническим состоянием электротехнического оборудования 98**

**Основные результаты главы 100**

**ГЛАВА 4. ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ АПРОБАЦИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ФАКТИЧЕСКИМ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ 101**

**4.1 Постановка прикладной задачи и научного эксперимента. Краткое описание технических характеристик объектов апробации 101**

**4.2 Формализация и прогнозирование изменения ключевых параметров силового маслонаполненного трансформатора средней мощности 102**

**4.3 Практическая реализация концептуальной модели системы поддержки принятия оперативных управленческих решений 125**

**Основные результаты главы 135**

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ 136**

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 139**

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В диссертационной работе были получены следующие основные результаты:

1. На основе аналитического обзора процессов эксплуатации электроэнергетического оборудования обоснована актуальность поиска новых решений, базирующихся на использовании правил нечеткой логики и аппарата краткосрочного (оперативного) прогнозирования значений технических параметров ЭО в условиях неопределенности исходной информации. Определен состав и основные направления реализации СПГ1Р при управлении фактическим техническим состоянием ЭО. Проведен анализ математических методов и моделей прогнозирования, выполнена их классификация по способу формализации, позволившая выбрать класс известных адаптивных моделей краткосрочного прогнозирования (АМП) и оценочные критерии адекватности.
2. Разработана концептуальная модель системы поддержки принятия оперативных управленческих решений (КМПР) на основе сформулированных принципов и формализованных правил нечеткой логики, обеспечивающая использование математического аппарата краткосрочного прогнозирования (АКМ) и являющаяся основой профилактического обслуживания ЭО по фактическому техническому состоянию. Разработан обобщенный алгоритм формирования управленческих решений, а также формализованы комплексные критерии принятия решений и импликации нечетких множеств, позволившие учесть разносторонние аспекты эксплуатации электротехнического оборудования.
3. Разработана АКМ и создана методика принятия решений при управлении фактическим техническим состоянием ЭО, содержащие: векторные критерии селекции оптимальных моделей начальных условий и АМП, используемые в методике расчета оптимальных начальных условий; алгоритм функционирования АКМ и ее программную реализацию. Адаптивная комплексная модель краткосрочного прогнозирования изменения технических параметров ЭО, позволяет добиться повышения достоверности прогнозных оценок за счет совместного использования обоснованных адаптивных предикторов из множества *FM.*
4. Произведено обоснование адаптивных предикторов в составе АКМ и методики определения оптимальных начальных условий на базе конкретных типовых форм временных рядов. Осуществлено тестирование АКМ, в том числе в условиях скачков пилообразной формы и случайно распределенного во времени тренда, показавшее положительные результаты в виде снижения величин мгновенных ошибок прогнозных оценок в среднем до 2,5 раз по сравнению с использованием случайных моделей из множества *FM.*
5. В результате опытно-промышленной апробации СППР при управлении фактическим ТС ЭО на примере силовых маслонаполненных трансформаторов средней мощности были формализованы:
* ключевые количественно-качественные параметры, позволившие определить техническое состояние объектов апробации и учесть данную информацию на уровне принятия решений КМПР;
* модель термического износа изоляции СМТ: параметр ТИ *(L),* учитывающий такие факторы, как температуру наиболее нагретой точки (*6h*), влагосодержание твердой изоляции (w), содержание кислорода в трансформаторном масле (*0*2) и показатель его окисления *(К).*
1. Разработана программная среда «*Forecast Models Analysis*» *(«FMA»),* в которой реализованы инструменты автокорреляционного анализа временных рядов, механизмы аппроксимации эмпирических данных и АКМ.
2. В программной среде «*FMA*» получены прогнозные оценки остаточного ресурса обследуемых трансформаторов средней мощности, а также факторов, определивших параметр относительного термического износа изоляции, с целью снижения аварийных простоев оборудования.
3. Разработан алгоритм принятия решений при управлении фактическим техническим состоянием СМТ, используемый при диагностике технического состояния оборудования и выработке конкретных мер, направленных на устранение выявленных дефектов. Осуществлен расчет приоритетов для объектов апробации на основе нечеткой логики (КМПР), позволивший комплексно оценить ТС ЭО и выявить трансформатор, нуждающийся в проведении первоочередных мероприятий по устранению причин дефектов, обнаруженных в процессе эксплуатации.

 В целом использование моделей и алгоритмов принятия решений, образующих СППР, позволяют обнаружить на ранней стадии развивающиеся дефекты и сократить аварийные простои ЭО в среднем на 20 % за счет повышения достоверности прогнозов времени проведения профилактических мероприятий в сравнении с применением отдельных адаптивных моделей из множества *РМ*