Шалашов, Иван Владимирович. Байесовские модели принятия решений при управлении техническим обслуживанием по фактическому состоянию : диссертация ... кандидата технических наук : 05.13.01 / Шалашов Иван Владимирович; [Место защиты: Нижегор. гос. техн. ун-т].- Нижний Новгород, 2011.- 147 с.: ил. РГБ ОД, 61 11-5/2249

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА

На правах рукописи





Шалашов Иван Владимирович

БАЙЕСОВСКИЕ МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ПРИ УПРАВЛЕНИИ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ
ПО ФАКТИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ

Специальность 05Л 3.01 — «Системный анализ, управление и обработка

информации» (технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель д. т. н., профессор, зав. кафедрой ЭСВМ

Милов В. Р.

Нижний Новгород 2011

ВВЕДЕНИЕ 4

1. МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ 9
	1. [Задачи контроля и поддержки технического состояния 9](#bookmark6)
	2. Техническое состояние и показатели качества функционирования 10
	3. Методы обеспечения эксплуатационной безотказности 13
	4. [Диагностирование неисправностей технических систем 17](#bookmark7)
	5. [Организация технического обслуживания и ремонта 22](#bookmark11)
	6. [Виды технического обслуживания и ремонта систем 28](#bookmark12)
		1. [Обслуживание оборудования после выхода его из строя 28](#bookmark13)
		2. [Обслуживание оборудования по регламенту 29](#bookmark16)
		3. Обслуживание по фактическому техническому состоянию 30
	7. Проблема перехода к обслуживанию по фактическому состоянию 33
2. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПО ФАКТИЧЕСКОМУ

СОСТОЯНИЮ 34

* 1. Определение коэффициента готовности систем различной конфигурации .... 34
	2. Обобщенная математическая модель эксплуатации 40
	3. [Способ повышения эффективности обслуживания по фактическому состоя­нию на основе прогнозирования 48](#bookmark28)
	4. [Схема системы технического обслуживания с прогнозированием 48](#bookmark29)
	5. [Разработка критерия эффективности прогнозирования отказов 50](#bookmark30)
		1. [Показатели 50](#bookmark31)
		2. [Критерий эффективности прогнозирования отказов 51](#bookmark34)
	6. [Принятие решений при прогнозировании отказов 54](#bookmark37)
		1. [Правила принятия решений при прогнозировании отказов 54](#bookmark38)
		2. Анализ эффективности прогнозирования для случая гауссовских

распределений 55

1. ПРОЦЕДУРЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ 59
	1. [Прогнозирование состояния технических систем 59](#bookmark43)
		1. [Задачи и цели прогнозирования 59](#bookmark44)
		2. [Способы построения прогнозных моделей 61](#bookmark45)
		3. [Задача синтеза прогностической модели 62](#bookmark46)
		4. [Методы вероятностного прогнозирования 65](#bookmark49)
	2. [Байесовский подход к прогнозированию 69](#bookmark52)
		1. Представление распределения вероятностей и вероятностный вывод

в байесовских сетях 69

* + 1. [Оценка параметров байесовских сетей 70](#bookmark54)
		2. [Определение структуры байесовской сети 72](#bookmark57)
	1. Прогнозирование состояния дискретных стахостических систем

на основе скрытых марковских моделей 73

* + 1. [Процедуры прогнозирования и фильтрации 75](#bookmark59)
		2. Структурно-параметрическое обучение 76
		3. Моделирование процедур структурно-параметрического обучения . ... 78
		4. [Моделирование процедур прогнозирования состояния системы 81](#bookmark62)
1. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОРЯДКА ПРОВЕДЕНИЯ

ТЕСТОВЫХ ПРОЦЕДУР 83

* 1. [Стоимость и ценность информации 83](#bookmark63)
	2. [Стратегии, основанные на теории полезности 86](#bookmark65)
	3. Выбор порядка проведения тестовых процедур на основе сетей поддержки

принятия решений 89

1. ПРИМЕНЕНИЕ ПРОЦЕДУР ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ 94
	1. [В системе мониторинга состояния газопровода 94](#bookmark66)
	2. [В прогнозировании отказов вычислительных узлов 109](#bookmark80)
	3. [В управлении рисками программных проектов 116](#bookmark85)
		1. В системе поддержки коллективного решения группы независимых

экспертов «firstline2» 116

* + 1. [В управлении процессом рефакторинга кода 126](#bookmark89)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 132

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 134

ПРИЛОЖЕНИЯ 143

Приложение 1 Интерфейс системы «firstline2>> 143

[Приложение 2 Акты о внедрении результатов работы 146](#bookmark93)

В настоящее время, наряду с традиционным методом обслуживания технических систем по регламенту, начинает применяться техническое об­служивание (ТО) по фактическому состоянию. Это позволяет сократить количество обслуживаний, число отказов и, как следствие, затраты на об­служивание.

Традиционно основой ТО по фактическому состоянию является тех­ническое диагностирование. Также в настоящее время большое значение для повышения эффективности ТО по фактическому состоянию приобре­тает прогнозирование отказов объекта.

Результаты диагностирования и прогнозирования составляют основу для принятия решений о необходимости ТО, времени его проведения и объеме. Поэтому эффективность применения ТО по фактическому состоя­нию зависит от выбора стратегии диагностирования и прогнозирования. При прогнозировании технического состояния сложных систем находят применение вероятностные модели. Более того, учёт статистических не­определенностей, обусловленных ограниченностью объёма наблюдений, должен всегда сопровождать принятие решений относительно выработки корректирующих мероприятий по повышению надёжности.

Вопросы повышения эффективности технического обслуживания и ремонта (ТОПОР) на основе прогнозирующих информационных систем рас­смотрены в работах Л.Н. Александровской, И.З. Аронова, В.И Круглова, И.А Буралёва, Б.И. Доценко, Н.Д. Богатова, а также в работах иностран­ных ученых F. Salfner, М. Malek, G. Bratnik, A. Kusz, A. Marciniak и др.

Работы отечественных ученых А.И. Галушкина, Д.В Гаскарова, С.Н. Васильева, С.И. Николенко, А.Л. Тулупьева, В.М. Гупала, М.А. Круп­ского, В.П. Савчука, А.Л. Тугучева и других отражают различные аспекты вероятностного моделирования систем, в том числе с помощью байесов­ских сетей.

Методы прогнозирования технического состояния на основе байесов­ской методологии рассмотрены в работах В.В. Глущенко, А.В. Назарова, Ю.С. Середы, а также в работах иностранных ученых L.R. Murphy, R. Rabiner, R. Katz, I. Csiszar и др.

Разработкой технологий принятия решений в различных прикладных аспектах занимались Д.П. Броварный, А.В. Сиротин, В.Н. Антонов, В.А. Терехов, И.Ю. Тюкин и др.

Однако направления разработки правил принятия оптимальных статистических решений об обнаружении прогнозируемых отказов и необходимости и порядке проведения диагностических процедур при управлении техническим обслуживанием по фактическому состоянию требуют дальнейшей разработки.

Таким образом, научная проблема диссертационного исследования — разработка модели принятия решений при управлении техническим об­служиванием по фактическому состоянию - актуальна.

**Цель и задачи диссертационной работы**

Цель работы заключается в разработке процедур поддержки принятия решений для повышения эффективности обслуживания технического объекта по его фактическому состоянию на основе прогнозирования отказов.

Указанная цель достигается решением следующих задач:

1. Провести анализ принципов обслуживания технических систем и мо­делей вероятностного описания состояния объекта.
2. Разработать критерий эффективности прогнозирования отказов при управлении техническим обслуживанием по фактическому состоянию.
3. Разработать оптимальное правило принятия решения относительно прогнозируемого отказа.
4. Разработать процедуры принятия рациональных решений о проведе­нии тестов.

**Методы исследования**

В диссертационной работе использованы методы исследования, базирующиеся на теории вероятностей и математической статистики, теории принятия решений, включая байесовскую методологию, теории полезности, теории информации, теории надёжности, а также методах оптимизации и математического моделирования.

**Научная новизна**

1. Предложен новый критерий эффективности прогнозирования отказов технического объекта, представляющий выигрыш от реализуемых действий по предотвращению отказа.
2. В развитие байесовской методологии на основе предложенного крите­рия разработано оптимальное правило принятия решений относитель­но прогнозируемого отказа.
3. Разработаны новые процедуры принятия решений о проведении тестов с учётом ценности информации и стоимости диагностических проце­дур, основанные на вероятностной модели технического объекта, формализованной посредством байесовской сети.

**Практическая значимость работы**

Предложенные в диссертационной работе методы и процедуры поддержки принятия решений для управления обслуживанием технических объектов позволяют сократить время и стоимость ремонта, что способствует повышению эффективности функционирования технических систем.

Результаты диссертационной работы нашли применение в НИР, вы­полнявшихся в рамках ФЦНТП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники»:

* «Приобретение знаний и логический вывод в распределенных гибридных интеллектуальных системах» (государственный контракт № 02.442.11.7378, отчет о НИР инв. № 02200607048);
* «Разработка теории интеллектуальной обработки информации и автоматизированного управления сложными аппаратно-программными комплексами на основе нейросетевых технологий» (государственный контракт № 02.442.11.7378, отчет о НИР, инв. № 02200901018).

Разработан программный модуль, реализующий процедуры прогнозирования отказов и поддержки принятия решений. Получено свидетельство о государственной регистрации программы “Программный комплекс моделирования процедур нейросетевой классификации” №2008612308.

Разработанные в диссертационной работе теоретические решения и программное обеспечение представлены к внедрению в ОАО «Газпром» в рамках разработки общесистемных решений по обработке данных в ин­теллектуальной информационной системе комплексного мониторинга со­стояния магистрального газопровода (ИИС КМСГ).

Процедуры принятия решений с учётом ценности и стоимости информации и процедуры прогнозирования внедрены в процесс управления разработкой и тестирования программного обеспечения в ООО «Телека» (г. Нижний Новгород).

Часть материалов диссертационной работы использована в учебном процессе на кафедре «Электроника и сети ЭВМ» Нижегородского государ­ственного технического университета им. Р.Е. Алексеева при проведении за­нятий для студентов и магистрантов, обучающихся по направлению 230200 «Информационные системы».

**Апробация работы**

Основные положения и результаты диссертационной работы докла­дывались на следующих научно-технических семинарах и конференциях:

1. Научно-технические семинары кафедры ЭСВМ 2006 — 2010 гг.;
2. 16-я Международная научно-практическая конференция по графиче­ским информационным технологиям и системам - КОГРАФ (г. Ниж­ний Новгород, 2006 г.);
3. Международные научно-технические конференции «Информационные системы и технологии» — ИСТ (г. Нижний Новгород, 2005 — 2009 гг.);
4. 10-я, 12 — 14-я Нижегородские сессии молодых ученых. Технические науки (г. Нижний Новгород, 2005, 2007 — 2009 гг.);
5. 6-я Международная конференция «Цифровая обработка сигналов и ее применение DSPA» (г. Москва, 2007 г.);
6. 13-я Всероссийская научно-техническая конференция «Информацион­ные технологии в науке, проектировании и производстве» (г. Нижний Новгород, 2007 г.);
7. Всероссийская научно-техническая конференция «Нелинейная дина­мика в когнитивных исследованиях» (г. Нижний Новгород, 2009 г.).

Разработан проект системы управления и диагностики технологиче­ских процессов, который удостоен диплома в номинации «Создаём ин­теллектуальный капитал конкурса» на первом областном конкурсе моло­дёжных инновационных команд «Россия. Ответственность. Стратегия. Технологии».

**Основные положения диссертационной работы, выносимые на защиту**

1. Предложенный критерий показывает, во сколько раз изменяется готов­ность объекта при техническом обслуживании по фактическому состо­янию на основе прогнозирования отказов.
2. Разработанное решающее правило позволяет повысить готовность техни­ческого объекта при обслуживании по фактическому состоянию на осно­ве прогнозирования отказов.
3. Процедура принятия решений о проведении тестов позволяет прово­дить рациональный выбор диагностических процедур.

**Публикации**

Основное содержание диссертации опубликовано в двух отчетах по НИР и в 26 печатных работах. Из них восемь статей в научно-технических журналах, 17 публикаций в сборниках трудов и материалов научно­технических конференций, в том числе Всероссийских и Международных, свидетельство Роспатент об официальной регистрации программы для ЭВМ.

Три статьи опубликованы в журналах «Автоматизация в промышлен­ности» и «Информационно-измерительные и управляющие системы», ко­торые входят в перечень изданий, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертационных работ.

*(*

**Структура и объем работы**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка и пяти приложений. Общий объём работы составляет 147 с., включая 127 с. основного текста, 48 рисунков. Библио­графический список содержит 97 наименований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе общих тенденций развития метода обслуживания технических объектов по фактическому состоянию с использованием байесовских процедур поддержки принятия решений были предложены способы повышения эффективности функционирования объекта и сокращения затрат на его ремонт и обслуживание, базирующиеся на следующих основных результатах.

1. Проведён анализ принципов обслуживания и способов вероятностного описания состояния технических объектов.
2. Разработаны процедуры повышения эффективности технического обслуживания по фактическому состоянию на основе прогнозирования отказов.
3. Разработан критерий эффективности прогнозирования отказов технического объекта, на основе которого получено оптимальное решающее правило для обнаружения наступающего отказа.
4. Предложен способ принятия рациональных решений о проведении процедур технической диагностики и подготовки к ремонту.
5. Предложенные процедуры и алгоритмы планируются к внедрению в

*і г*

ОАО Гипрогазцентр в рамках разработки общесистемных решений по обработке данных в интеллектуальной информационной системе комплексного мониторинга состояния магистрального газопровода (ИИС КМСГ).

В результате развития байесовской методологии синтезированы процедуры определения наиболее вероятной причины отказа при учете большого числа факторов, с привлечением эмпирических данных и экспертных оценок. При этом учитывается ценность и стоимость диагностической информации, что обеспечивает рациональный выбор проводимых тестовых процедур. Предложено применение прогнозирования в составе системы управления техническим состоянием для повышения готовности за счет действий по предотвращению отказов и подготовки к ремонту. Сформирован оригинальный способ определения эффективности прогнозирующего контроля для поддержки принятия решений по ТОиР. Получено выражение для показателя эффективности применения процедур прогнозирования технического состояния.

Сформировано решающее правило для обнаружения наступающего отказа при использовании которого не наблюдается снижения эффективности по отношению к системе ТОИР без прогнозирования технического состояния.

Приведены выражения для определения оптимального значения порога принятия решения для общего случая и случая нормального распределения наблюдаемой величины. Анализ эффективности прогнозирующего контроля позволяет определить область применимости выбранного метода упреждающего технического обслуживания, а также позволяет установить обоснованные требования к значениям параметров подсистем.

Применение системы управления на базе измеримых характеристик объекта [11,15] в полной мере справедливо и по отношению к программным проектам. Однако процесс создания ПО настолько многогранен и одновременно сложен для восприятия, что даже незначительные недостатки системы измерения неизбежно отразятся на качестве управления. Основу любой системы измерения составляют отдельные показатели, именуемые также метриками [11, 15]. Вычисление метрики в ходе реализации проекта (а при детальном проектировании оно возможно еще на этом этапе, не дожидаясь стадии кодирования) позволяет своевременно определить наиболее сложные, сопровождающиеся высокими рисками, структурные единицы и принять меры по устранению рисков за счет внесения коррективов.

Можно утверждать, что в настоящий момент существует весьма обширное число показателей, с помощью которых можно измерять множество различных аспектов создания программного обеспечения. Зачастую речь идет не о том, что одна метрика лучше другой. Все они позволяют посмотреть на один и тот же процесс под разными углами зрения, поэтому используются в комплексе, и только так могут служить отправной точкой для принятия объективных решений. Поскольку многие метрики достаточно сложны и трудоемки в вычислении, то для их расчета и последующего принятия решений разработано специальное ПО.