

На правах рукописи



Хорошев Валерий Вячеславович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМИЧЕСКОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА УСТРОЙСТВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ
ВОПРОСНИКОВ**

Специальность 2.9.4 – «Управление процессами перевозок»

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Москва

2021

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта» на кафедре «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте», г. Москва.

Научный руководитель: *Ефанов Дмитрий Викторович*
доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта», кафедра «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте», профессор кафедры.

Официальные оппоненты: *Сапожников Валерий Владимирович*
заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах», профессор кафедры.

Черезов Григорий Анатольевич
кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения», кафедра «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте», заведующий кафедрой.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения».

Защита состоится «25» февраля 2022 г. в 11 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета 44.2.008.01 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральского государственного университета путей сообщения» по адресу: 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, ауд. Б2-15.

С диссертацией, авторефератом можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО УрГУПС (www.usurt.ru), Автореферат размещён на сайте Минобрнауки России (www.vak.minobrnauki.gov.ru).

Автореферат разослан « » 202 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Тимухина Елена Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертационного исследования обусловлена тем, что на полигонах железных дорог и метрополитенов функционируют системы управления движением поездов, разработанные ещё в середине прошлого столетия. На подавляющем числе станций и перегонов продолжает выполнять свои функции физически и морально устаревшая релейная техника, что обуславливает необходимость тщательного надзора за состоянием отдельных объектов автоматики. Несмотря на наметившуюся тенденцию внедрения микропроцессорных систем, быстрое обновление технической базы устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) оказывается экономически не выгодным и технически затруднённым. Вопрос функциональной надёжности, по-прежнему, остаётся актуальным. Любая неисправность устройств автоматики и телемеханики несёт в себе угрозу бесперебойности движения поездов. Любые нарушения перевозочного процесса несут в себе как огромные экономические потери для компаний-перевозчиков, так и социальные потери, связанные со снижением доверия клиентов и ухудшением имиджа компании в целом. Регламентные работы по техническому обслуживанию не дают гарантий непрерывного функционирования объектов. С ростом объёмов перевозок, увеличением нагрузки на инфраструктуру и уменьшением межпоездных интервалов производить периодическое техническое обслуживание становится затруднённым. Важнейшим мероприятием в этой связи становится организация непрерывного контроля ответственных рабочих параметров устройств ЖАТ с целью своевременного предупреждения развивающихся в них неисправностей на стадиях предотказных состояний. Для достижения данной цели были разработаны системы технического диагностирования и мониторинга (СТДМ). Современные СТДМ в области ЖАТ имеют множество недостатков, среди которых: автоматическое измерение ограниченного набора параметров, анализ диагностических данных реализован частично программными средствами, частично – обслуживающим персоналом, обработка данных производится преимущественно вручную, отсутствие в программном обеспечении аппарата автоматизации построения наиболее рациональной последовательности диагностических процедур.

Проведённое в ходе написания диссертации исследование по повышению эффективности СТДМ ЖАТ с помощью математического аппарата теории вопросников позволяет помимо автоматического анализа данных построить систему поддержки принятия решений (СППР) для персонала, обслуживающего и эксплуатирующего объекты автоматики. Данное нововведение позволит фиксировать в автоматическом режиме развитие неисправностей. Основным эффектом от внедрения данной технологии в программное обеспечение (ПО) СТДМ позволяет сократить число ситуаций, препятствующих осуществлению логистических задач компании-перевозчика по причине отказов устройств ЖАТ.

Степень разработанности темы исследования. В области повышения эффективности обслуживания устройств ЖАТ известны работы таких учё-

ных как В. М. Алексеева, А. И. Брейдо, С. В. Власенко, А. В. Горелика, И. Е. Дмитриенко, А. А. Прокофьева, А. А. Сепетого, В. В. Сапожникова, Вл. В. Сапожникова, В. И. Шаманова и др. В области технической диагностики и методов синтеза алгоритмов диагностирования работали и работают известные учёные и научные школы под их руководством – М. Ф. Каравай, А. Ю. Матросова, В. И. Хаханов, M. Gössel, Z. Navabi, R. Ubar и др. Непосредственно в направлении теории вопросников известны работы А. Ю. Аржененко, В. А. Вестяка, А. Н. Павлова, Д. В. Ефанова, О. Г. Казаковой, П. П. Пархоменко, Б. Н. Чугаева, Y. Chesari, F. Dubail, G. Duncan, C. F. Picar, S. Retolla и других исследователей.

Несмотря на большое количество работ учёных в области синтеза алгоритмов диагностирования и дискретного поиска и, непосредственно, в области теории вопросников, до конца неизученными остаются вопросы построения оптимальных (по критерию минимума цены обхода) и близких к оптимальным (квазиоптимальных) алгоритмов, включающих в себя проверки с несколькими исходами (а не только проверок с двумя исходами).

Тема диссертации соответствует паспорту специальности 2.9.4 – «Управление процессами перевозок» по пункту 7 (системы автоматизации и телемеханики, предназначенные для управления перевозочным процессом, методы их построения и испытания).

Цели и задачи диссертации. Целью диссертационного исследования является разработка методов повышения эффективности работы алгоритмического обеспечения систем технического диагностирования и мониторинга железнодорожной автоматизации с использованием математического аппарата теории вопросников, развитие теории вопросников и её использование для решения прикладных задач диагностирования технических объектов ЖАТ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Исследование возможностей оптимизации вопросников по критерию минимума цены обхода, включающих в себя вопросы с различными основаниями и поиск методов оптимизации, имеющих полиномиальную трудоёмкость.

2. Разработка алгоритма построения вопросников, имеющих вопросы с различными основаниями, с полиномиальной трудоёмкостью на основе простых операций сравнения вопросов.

3. Исследование особых типов вопросников, допускающих ошибки и неопределённости в ответах.

4. Разработка динамических вопросников для устройств и систем железнодорожной автоматизации, функционирующих в составе программных средств поддержки принятия решений обслуживающим персоналом дистанций сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ).

5. Применение теории вопросников к задачам синтеза алгоритмического обеспечения систем автоматизированного технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматизации.

Объектом исследования являются системы технического диагностиро-

вания и мониторинга средств железнодорожной автоматики и телемеханики, а предметом – алгоритмы диагностирования, основанные на математическом аппарате теории вопросников.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Разработан метод синтеза оптимального неоднородного вопросника с вопросами, имеющими два и три исхода (бинарно-тернарного вопросника), с учётом различных весов событий и цен вопросов, основанный на использовании принципа корневого вопроса.

2. Предложены способы построения оптимальных бинарно-тернарных вопросников, допускающих ошибки и неопределённости в ответах.

3. Разработаны динамические вопросники для основных напольных объектов железнодорожной автоматики в различных режимах их функционирования.

4. Предложен способ совершенствования программного обеспечения СТДМ за счёт интеграции в них разработанных динамических вопросников.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке методов построения оптимальных и близких к оптимальным алгоритмов диагностирования с проверками, имеющими несколько исходов, в том числе, в разработке методов синтеза таких алгоритмов в виде вопросников.

Практическая значимость работы связана с возможностью использования полученных результатов при разработке и доработке ПО СТДМ ЖАТ в части автоматизации процедур по локализации неисправностей напольного технологического оборудования.

Методология и методы исследования. Использованы методы булевой алгебры и дискретной математики, теории оптимизации, теории вопросников и технической диагностики.

Положения, выносимые на защиту:

1. Метод синтеза оптимального бинарно-тернарного вопросника, учитывающий различные стоимости вопросов и веса событий.

2. Метод синтеза бинарно-тернарных вопросников при условии наличия проверок, допускающих ошибки, и вероятных неопределённостей в ответах.

3. Алгоритмы диагностирования для устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, полученные на основе введённых в рассмотрение динамических неоднородных вопросников.

4. Технические предложения по совершенствованию подсистемы поддержки принятия решений эксплуатационным персоналом хозяйства автоматики и телемеханики, интегрированной в программные средства СТДМ.

Степень достоверности результатов, полученных в диссертационной работе, основана на корректном применении математических аппаратов, методов дискретной математики, комбинаторики, теории графов, теории алгоритмов, технической диагностики и мониторинга систем автоматики.

Апробация результатов. Полученные автором результаты докладывались и обсуждались на следующих научных семинарах и конференциях: семинарах «Автоматика и дискретная математика» кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного

университета путей сообщения Императора Александра I, 2016 – 2018 гг.; международных конференциях «IEEE East-West Design & Test Symposium», 2017 – 2020 гг.; «Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов», Гомель, Беларусь, 2018 год; «International Russian Automation Conference», Сочи, РФ, 2018 – 2020 гг.; «Проблемы безопасности на транспорте», Гомель, Беларусь, 2019 г.; заседаниях кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Российского университета транспорта, 2019 – 2020 гг.; городском семинаре «Информатика и компьютерные технологии» при Научном совете по информатизации Санкт-Петербурга «Информатика и автоматизация» 14.05.2021 года в конференц-зале Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской Академии наук (СПИИРАН); семинаре кафедры «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте» Ташкентского государственного транспортного университета в рамках международного обмена опытом 25.05.2021 г.; расширенном заседании кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Уральского государственного университета путей сообщения 29.09.2021 г.

Основные научные и практические результаты, полученные в ходе исследований, внедрены в программное обеспечение интегрированной с системой централизации стрелок и сигналов СТДМ ЖАТ, реализованной на базе промышленных логических контроллеров, разработанной в ООО «ЛокоТех-Сигнал» и принятой к проектированию на ряде железнодорожных станций промышленных предприятий. Кроме того, ведутся работы по адаптации подхода к использованию в составе системы структурированного мониторинга (СМИС/СМИК) для совершенствования программных средств анализа данных о состоянии искусственных сооружений (конкретное приложение – мостовой переход через Керченский пролив).

Публикации. Основные научные результаты, полученные в ходе исследования, опубликованы в 22 печатных работах, включая 7 публикаций в журналах из Перечня ВАК РФ, 11 статей, индексируемых в международные наукометрические базы данных WoS и Scopus.

Структура и объем диссертации. Основное содержание работы изложено на 198 страницах машинописного текста, включая 58 рисунков и 21 таблиц. Диссертация состоит из введения, пяти глав основного текста, заключения, 3 приложений, библиографического списка, который включает в себя 162 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цели и задачи исследования и основные результаты, которые выносятся на защиту.

В первой главе даны основные положения теории технической диагностики и этапы развития СТДМ. Представлены примеры устройств и систем критического действия, которые функционируют в различных отраслях производства и транспорта. Освещены недостатки современных СТДМ.

Представлены пути решения проблемы автоматизации обработки данных в СТДМ с помощью внедрения алгоритмов диагностирования.

Алгоритмом диагностирования называется последовательность выполнения проверок для выявления состояния, в котором находится объект диагностирования. Эффективность использования алгоритма диагностирования оценивается математическим ожиданием времени реализации алгоритма поиска отказа в объекте диагностирования. Для предложенного математического аппарата этот показатель – цена обхода вопросника.

В ходе исследований были проанализированы различные методы построения алгоритмов диагностирования и установлено, что рядом преимуществ обладает применение для построения алгоритмов диагностирования методов теории вопросников. В диссертации усовершенствован математический аппарат теории вопросников и описаны особенности его применения для автоматизации обработки диагностических данных в программных средствах СТДМ ЖАТ.

Вопросником называется совокупность множества вопросов $Q = \{q_i | i = \overline{1, n}\}$, необходимых для разделения множества событий $X = \{x_j | j = \overline{1, m}\}$ (табл. 1). Таблица 1 является абстрактным примером анкеты вопросника. Теория вопросников разработана в середине прошлого столетия французским математиком К. Ф. Пикаром, в техническую диагностику её ввёл П. П. Пархоменко в 60-е годы прошлого столетия. Основными оперируемыми в диссертации понятиями являются: бинарный вопросник (BQ) – вопросник, состоящий только из бинарных вопросов (вопрос, имеющий два ответа); тернарный вопросник (TQ) – вопросник, состоящий из тернарных вопросов (вопросов с тремя ответами); бинарно-тернарный вопросник (BTQ) – вопросник, состоящий из бинарных и тернарных вопросов (рис. 1). Однородный вопросник – вопросник, состоящий из вопросов с одинаковым количеством ответов, неоднородный вопросник – состоит из вопросов с разным количеством ответов.

Таблица 1. Анкета вопросника

| q_i | $c(q_i)$ | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | x_7 | x_8 | x_9 |
|-----------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| q_{T_1} | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| q_{T_2} | 4 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| q_{B_3} | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| q_{B_4} | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| q_{B_5} | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| q_{B_6} | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| $p(x_i)$ | | 0,1 | 0,1 | 0,05 | 0,2 | 0,1 | 0,05 | 0,1 | 0,15 | 0,15 |

Благодаря применению теории вопросников в технической диагностике устройств ЖАТ появляется возможность учёта множества параметров объекта диагностирования, режимов его работы и эксплуатационных особенностей.

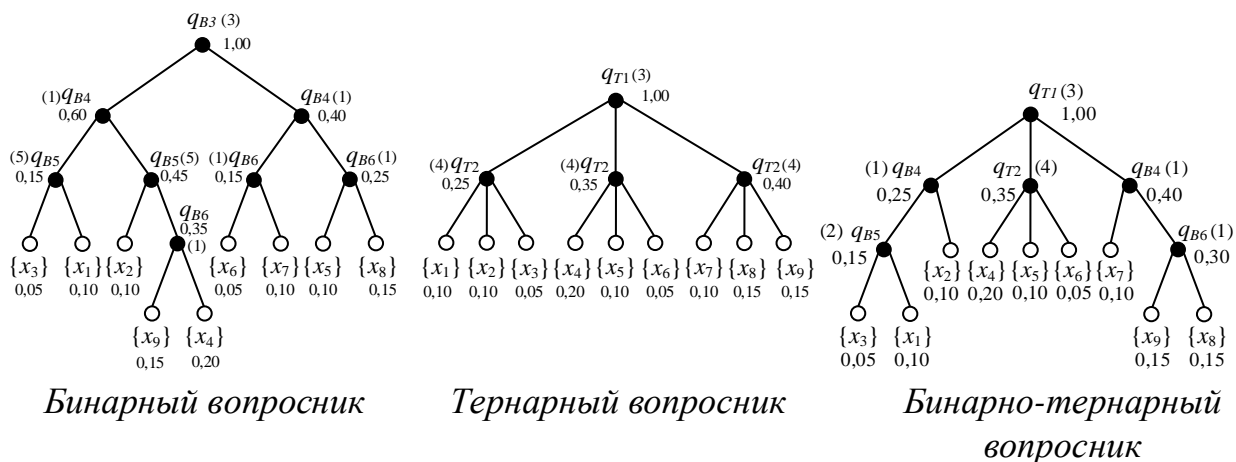


Рис. 1. Примеры вопросников в виде графов

Во второй главе приводится полное описание свойств и характеристик вопросников. Дана классификация вопросников из классической теории. В 5 главе введены новые типы вопросников и сформирована классификация вопросников для решения прикладных задач диагностики устройств и систем ЖАТ. Описаны способы задания вопросников – в виде анкеты неисправностей, в виде графа, перечисления всех вопросов и разбиений и пр. Представлены методы построения оптимального по критерию минимума затрачиваемого времени на обход вопросника. Указаны преимущества и недостатки методов.

По анкете вопросника может быть построено большое число вариантов вопросников, получаемых путём выбора разных последовательностей постановки вопросов ($n!$, где n – число проверок). Основная задача теории вопросников – поиск оптимального вопросника. Задача формулируется следующим образом: требуется синтезировать такой вопросник по заданной анкете неисправностей, который будет характеризоваться минимальным значением цены обхода из всех возможных вопросников, которые могут быть построены по представленной анкете. Таким образом, решается задача построения оптимальной по критерию минимума цены обхода вопросника последовательности вопросов. В технической диагностике цена обхода вопросника характеризует время, затраченное на проведение процедуры диагностирования. Цена обхода определяется по формуле:

$$C(q_0, X) = \sum_{x_j \in X} c(q_0, x_j) p(x_j) = \sum_{i=1}^n p(q_i) c(q_i). \quad (1)$$

где, X – множество технических состояний, в которые может перейти объект диагностирования, q_i – элементарная проверка, q_0 – корневая вершина дерева проверок, x_j – одно из множества состояний объекта X , $c(q_0, x_j)$ – цена идентификации события от корневого вопроса q_0 к висячей вершине x_j , $p(x_j)$ – вероятность появления состояния x_j , $p(q_i)$ – вес вопроса (сумма весов событий, принадлежащих подмножеству q_i), $c(q_i)$ – цена реализации вопроса.

Третья глава посвящена совершенствованию методов оптимизации неоднородных вопросников. Представлено свойство преобразования одного

вопросника в другой путём изменения формулировки вопросов. Наиболее простым случаем неоднородного вопросника является вопросник, включающий в себя некоторое количество бинарных вопросов и некоторое количество тернарных вопросов (вопросов с тремя ответами) – *ВТQ*. Ставится задача оптимизации вопросника по анкете неисправностей. Даны результаты исследования применения метода оптимизации вопросников имеющий полиномиальную трудоёмкость – метода корневого вопроса.

Как показывает анализ, в технической диагностике возможно использование вопросников, состоящих из вопросов, у которых $\forall q_i \in Q, a(q_i) > 2$. При использовании теории вопросников в технической диагностике возможна переформулировка вопросов, интерпретирующих проверки на объектах диагностирования. За счёт этого возможно увеличение основания вопроса в вопроснике, что, в свою очередь, позволяет в ряде случаев уменьшить среднее время реализации вопросника.

Самым простым вариантом неоднородных вопросников является бинарно-тернарный (*ВТQ*). Такие вопросники, как показано в диссертации, могут дать более выгодное решение задачи, чем использование только тернарных или бинарных вопросников. В диссертации решена задача совершенствования методов оптимизации *ВТQ*. Требовалось решить задачу построения оптимальной последовательности вопросов в вопроснике по заданной анкете для разделения на одноэлементные подмножества событий из конечного множества X , такую при которой время реализации вопросника будет минимальным – ($C(Q) \Rightarrow \min$). Исходные данные для задачи: дано конечное множество X событий из n элементов – ($X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$) и множество Q из m вопросов, имеющих смысл на заданном множестве – ($Q = \{q_{a_1}, q_{a_2}, \dots, q_{a_m}\}$), где запись q_{a_m} обозначает вопрос q по основанию a и порядковым номером m . Множество Q вопросов позволяет разбить множество X на одноэлементные подмножества, при этом каждый вопрос $q_i \in Q$ имеет своё число ответов, называемых основанием вопроса $a(q_i)$, показывающее число классов в разбиении. Все исходы вопросов $q_i \in Q$ являются детерминированными. Каждое событие $x_j \in X$ характеризуется вероятностью возникновения $p(x_j)$ такой, что $0 \leq p(x_j) \leq 1$ и $\sum_{x_j \in X} p(x_j) = 1$. Каждый вопрос $q_i \in Q$ характеризуется неотрицательной весовой функцией называемой ценой вопроса $c(q_i)$, которая обозначает время, затраченное на их реализацию. Одним из видов представления вопросника является взвешенный граф $G(Y, \Gamma)$, у которого $Y = X \cup Q$; $y = x \in X \Rightarrow \Gamma_x = \emptyset$; $y = q \in Q \Rightarrow |\Gamma_q| = a(q)$; $X \cap Q = \emptyset$, а Γ -планарный граф. Иными словами, вопросник представляется в виде взвешенного графа G , у которого имеется множество Y вершин, состоящее из множества X внешних и внутренних Q вершин, при этом если вершина u является элементом x множества X , то у такой вершины u последователей нет ($\Gamma_x = \emptyset$), а если вершина u является элементом q множества Q , то у такой вершины u мощность множества последователей равняется основанию вопроса q ($|\Gamma_q| = a(q)$).

Для оптимизации *ВТQ* в диссертации предложено использовать метод

корневого вопроса. Его применение позволяет на практике в системах реального времени оптимизировать алгоритмы диагностирования за максимально короткое время для оперативного информирования технического персонала. Решение задачи построения оптимального вопросника следует из принципа оптимальности Р. Э. Беллмана, принцип оптимальности гласит – каковы бы ни были начальные состояния и начальное управление, последующее решение должно определять оптимальную стратегию относительно состояния, полученного в результате первоначального управления. В процессе построения оптимального вопросника необходима стратегия для решения задачи дискретного оптимального управления. Задача построения оптимального вопросника сводится к многошаговому управляющему процессу, при котором происходит разбиение всей задачи на подзадачи и достигается оптимальное решение подбором оптимальных подрешений по целевой функции. Такой функцией является цена обхода вопросника. Взяв за основу принцип оптимальности Беллмана, профессор П. П. Пархоменко описал применение принципа оптимальности для вопросников.

Теорема 1. *Оптимальный вопросник состоит из оптимальных подвопросников.*

Теорема является формулировкой принципа оптимальности Р. Э. Беллмана для теории вопросников, в которой решение задачи оптимального управления – это оптимальный по критерию минимума цены обхода вопросник, а для решения данной задачи вопросник разбивается на подвопросники (подзадачи). Таким образом, при решении задачи построения оптимальной последовательности постановки вопросов в вопроснике, вся задача разбивается на подзадачи или подвопросники, и на каждом шаге оптимизации выбирается по некоторой функции оптимальный подвопросник (или подрешение). В результате из таких подвопросников (подрешений) складывается оптимальный вопросник или оптимальное решение задачи.

Соискателем усовершенствован метод корневого вопроса для оптимизации неоднородных вопросников. Метод подразумевает сравнение вопросов на каждом этапе проведения процедуры оптимизации.

Определение 1. *Два вопроса q_i и q_j находятся в отношениях сравнения в том случае, когда подмножество какого-либо исхода одного из них является собственным подмножеством какого-либо исхода другого вопроса.*

Отношения сравнения представлены на рис. 2. Например, на рис. 2а наглядно показано как первый тернарный вопрос q_{T1} и второй тернарный вопрос q_{T2} разбивают множество событий $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ на непересекающиеся подмножества $X_{q_T}^r$, где r – номер исхода вопроса q_T .

Научно обосновано и подробно описано в тексте диссертации что между вопросами бинарного вида возможен только один вид отношений сравнения, между вопросами тернарного вида возможно пять различных отношений сравнения, между бинарным и тернарным вопросами возможно три различных вида отношения сравнения. Для всех отношений сравнения были выведены функции предпочтения.

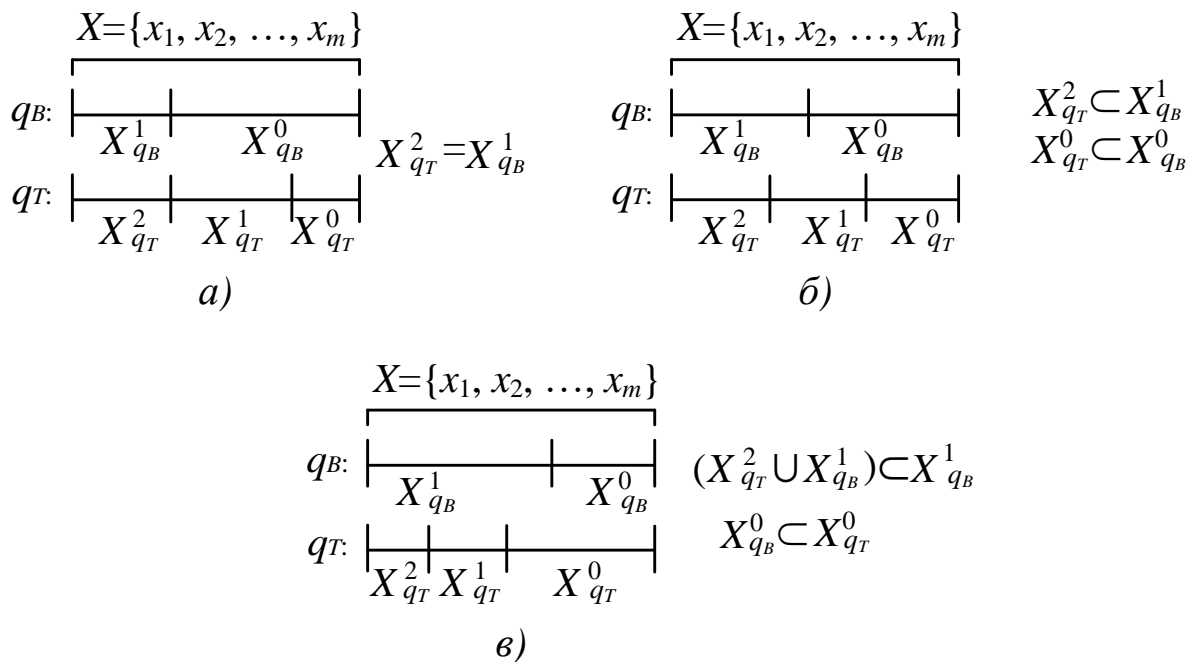


Рис. 2. Линейные диаграммы отношений сравнения бинарного и тернарного вопросов

Определение 2. *Функцией предпочтения называется такая функция, которая показывает какой вопрос из сравниваемых задавать предпочтительнее (или выгоднее) для поставленной задачи.*

Функция предпочтения обозначена как $\Phi(q_i, q_j)$. Если $\Phi(q_i, q_j) < 1$, то вопрос q_i предпочтительней вопроса q_j ($q_i > q_j$); иначе – наоборот. При $\Phi(q_T, q_B) = 1$ вопросы равнозначны.

В ходе исследования было установлено, что все виды отношений сравнения имеют схожую математическую конструкцию. На основании этого была выведена и обоснована обобщённая функция предпочтения двух сравниваемых вопросов, которая может применяться к вопросам с различными основаниями.

Теорема 2. *Обобщённая функция предпочтения $\Phi(q_1, q_2)$ для двух сравниваемых вопросов с различными основаниями $a \in \{2, 3, \dots, (n - 1)\}$ вычисляется по формуле:*

$$\Phi(q_1, q_2) = \frac{c(q_1) + c(q_2) \sum_{p_t \in (X_{q_1} \setminus X_{q_2})} p_t}{c(q_2) + c(q_1) \sum_{p_k \in (X_{q_2} \setminus X_{q_1})} p_k}, \quad (2)$$

где p_t и p_k – это вероятность возникновения событий входящих в подмножества $X_{q_1} \setminus X_{q_2}$ и $X_{q_2} \setminus X_{q_1}$ которые образуются в результате постановки вопроса q_2 на подмножествах вопроса q_1 поставленного на множестве X и в результате постановки вопроса q_1 на подмножествах вопроса q_2 поставленного на множестве X соответственно.

Результатом проведённого исследования применения метода корневого вопроса для синтеза оптимального бинарно-тернарного вопросника стал алгоритм оптимизации представленный на рис. 3. В диссертации приводится пример синтеза оптимального вопросника (рис. 4 а)) по предложенному алгоритму и произведено сравнение полученного вопросника с во-

просником (рис. 4 б)) синтезированным без применения методов оптимизации. Цена обхода вопросника с применением метода корневого вопроса:

$$C_{opt} = \sum_{i=1}^n p(q_i)c(q_i) = 2 \cdot 1,00 + 1 \cdot 0,27 + 1 \cdot 0,33 + 4 \cdot 0,07 + \\ + 4 \cdot 0,03 + 5 \cdot 0,02 + 5 \cdot 0,02 = 3,20.$$

Цена обхода вопросника без применения метода корневого вопроса:

$$C = \sum_{i=1}^n p(q_i)c(q_i) = 1 \cdot 1,00 + 4 \cdot 0,06 + 5 \cdot 0,07 + 5 \cdot 0,02 + \\ + 4 \cdot 0,03 + 2 \cdot 0,90 + 1 \cdot 0,93 = 4,54.$$

Из полученных выражений следует, что вопросник, синтезированный с использованием метода корневого вопроса, оказался на 29,5% эффективнее, чем построенный произвольным образом.

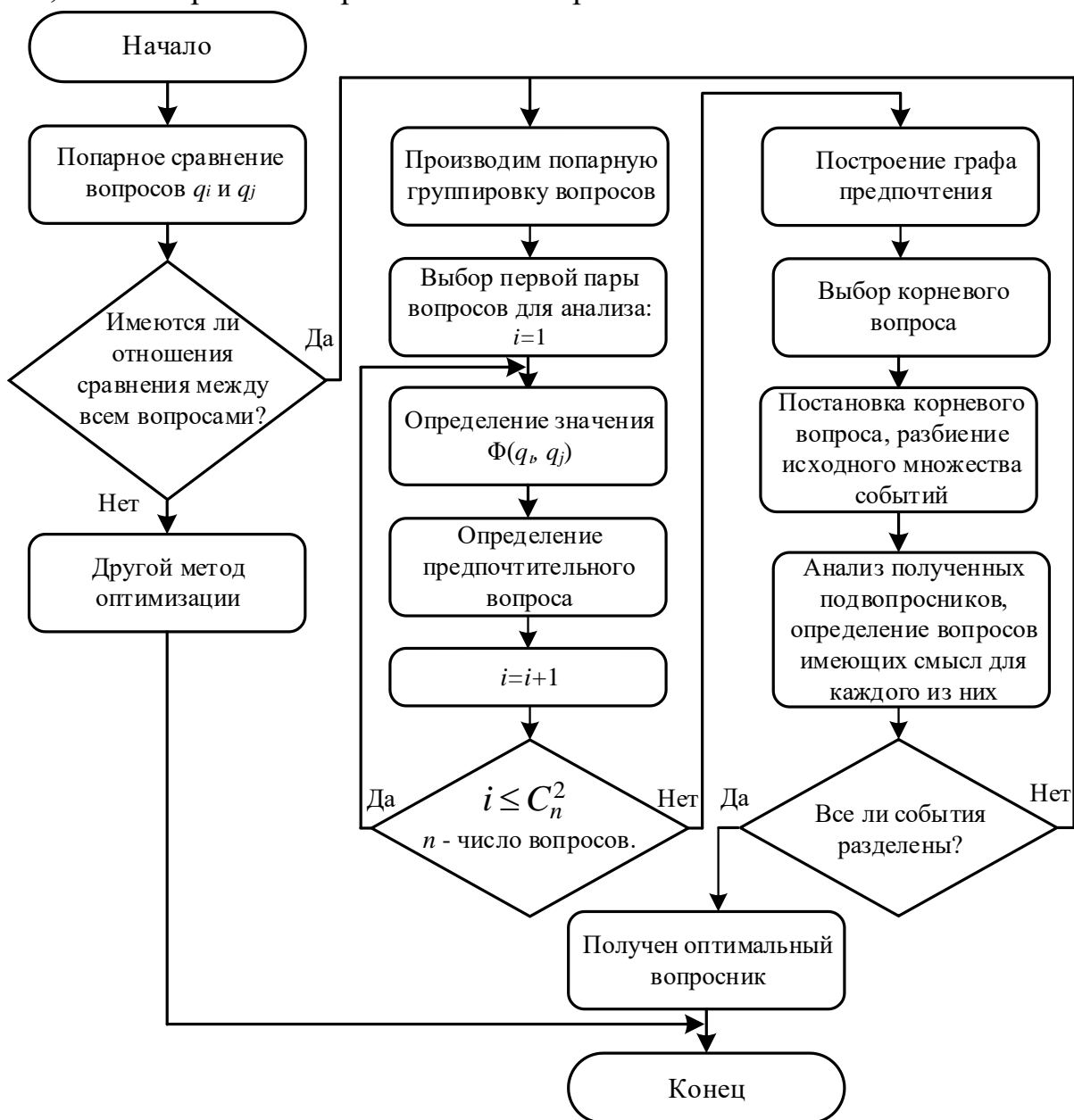


Рис. 3. Блочная диаграмма метода корневого вопроса

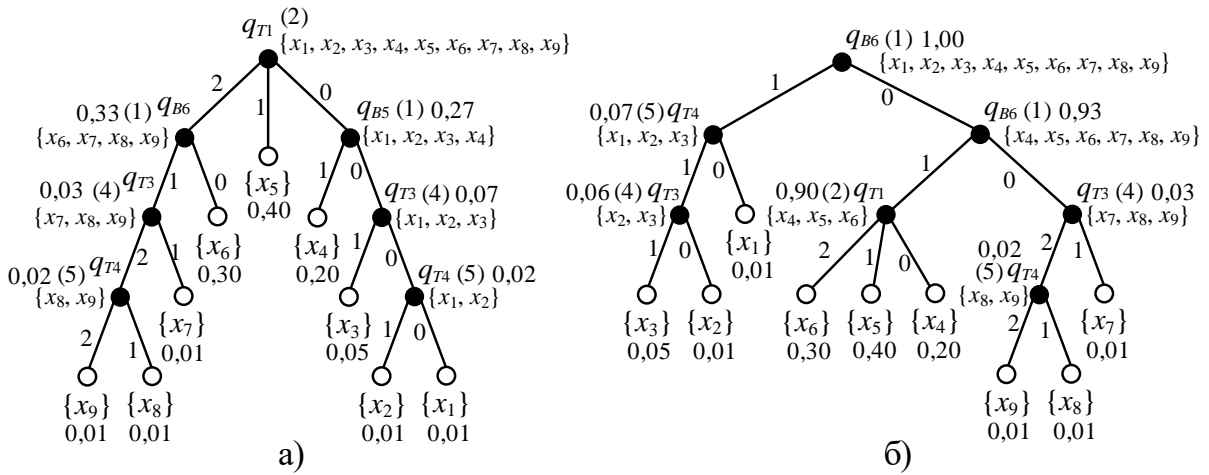


Рис. 4. Сравнение вопросника полученного с применением метода корневого вопроса (а) и вопросника без применения метода оптимизации (б)

Четвертая глава посвящена вопросникам особых видов. В технической диагностике такими вопросниками являются вопросники, в ответах которых содержатся ошибки или ответ на вопрос является неопределённым. Ошибки и неопределённости в технической диагностике представляются как ошибки измерительного оборудования, потеря данных об измерениях или же недостаточно полные исходные диагностические параметры, необходимые для постановки диагноза и прогноза. Математическая постановка данной задачи отличается от той, которая приведена в главе 3, тем, что при разбиении конечного множества событий X множеством вопросов Q возникает ситуация, в которой множество исходов некоторого вопроса q_i являются множеством покрытий, а не множеством разбиений (ответ на вопрос не является однозначным):

$$\bigcup_{j=0}^{a-1} X_j(q_i) = X; X_k(q_i) \cap X_p(q_i) |_{k \neq p} \neq \emptyset. \quad (3)$$

Для синтеза оптимального вопросника по анкете с ошибками необходимо скорректировать анкету вопросника так, чтоб избавиться от ошибок. Ранние исследования предлагали решение данной задачи на примере анкете с ошибками содержащей только бинарные вопросы. В данном исследовании решена задача построения анкеты с коррекцией ошибок по анкете с ошибками содержащей, как бинарные, так и тернарные вопросы. На первом этапе корректировки ошибок в анкете необходимо проверить анкету с ошибками на логическую полноту с применением матрицы различий. В диссертационной работе соискателем показан принцип доопределения матрицы различий. Тернарный вопрос подразумевает использование тричной логики и для матрицы различий был доопределён четвёртый вариант ответа (ошибочный). В тексте диссертации соискателем представлен усовершенствованный метод корректировки анкеты с ошибками, содержащей в себе бинарные и тернарные вопросы, представлен пример корректировки такой анкеты. После получения анкеты с коррекцией ошибок применяется любой известный метод синтеза оптимального вопросника.

Построение вопросника по анкете с ошибками или неопределённостями

приводит к тому, что в вопроснике может идентифицироваться одно и то же событие по нескольким маршрутам, как это можно видеть на рис. 5.

Данная особенность вопросника требует модернизации метода подсчёта цены обхода. Необходимо ввести дополнительную весовую функцию для каждого события $x_j \in W_{y_i}$ и заменить выражение для подсчёта цены идентификации события x_j на следующее:

$$C(x_j) = \sum q_r(x_j) c_r(x_j). \quad (4)$$

где $c_r(x_j)$ – цена идентификации события x_j по маршруту r в

вопроснике, а $q_r(x_j)$ – вероятность идентификации события x_j по маршруту r в вопроснике. Значение величины $q_r(x_j)$ в выражении (4) определяется по формуле:

$$q_r(x_j) = \prod_{q_r} \delta_{j,i}^k. \quad (5)$$

Если же ответ на вопрос (исход k) является детерминированным, то $\delta_{j,i}^k = 1$. Цену вопросника в этом случае можно определить по формуле:

$$C = \sum_{j=1}^m p(x_j) C(x_j). \quad (6)$$

Далее оптимизацию по полученной анкете с коррекцией ошибок проводят известными методами, с той лишь разницей, что на каждом этапе для мнимых вопросов необходима проверка условия:

$$C_{q_i}^0 = \emptyset, q_i \in Q^\varphi. \quad (7)$$

После завершения процедуры оптимизации все мнимые вопросы $q_i \in Q^\varphi$ отбрасываются.

В пятой главе анализируются особенности разработки СППР поиска неисправностей в СТДМ ЖАТ на основе данных, полученных в режиме реального времени с датчиков измерительных контроллеров. Соискателем предлагается реализовывать СППР при поиске неисправностей (отказов и предотказных состояний) на базе теории вопросников для систем непрерывного мониторинга объектов железнодорожной автоматики, сформулирована общая модель работы устройств ЖАТ, даётся обоснование однозначного отождествления конкретных совокупностей значений диагностических признаков с конкретным состоянием объекта, исследуется прикладная теория вопросников для устройств ЖАТ. В таком случае вопросом является проверка, а событием – нахождение объекта диагностирования в том или ином состоянии (исправное, работоспособное, неработоспособное).

В диссертационном исследовании предлагается решение задачи автоматизации анализа измеряемых параметров объекта диагностирования в программном обеспечении СТДМ за счёт внедрения математического аппарата теории вопросников. Подобное решение позволит прогнозировать раз-

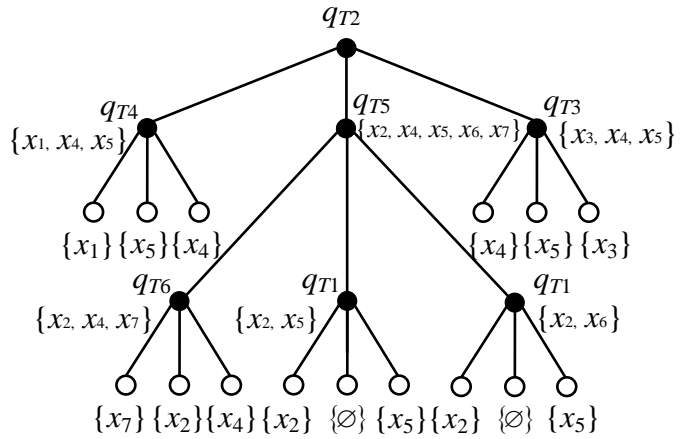


Рис. 5. Вопросник с вопросами, допускающими ошибки

витие предотказного состояния или отказа. Предложенные решения подходят как для модернизации уже эксплуатируемых СТДМ, так и для новых проектируемых систем. Их можно использовать и в тесной интеграции с системами ЖАТ с выводом данных в модули диагностики в ПО.

В тексте диссертации подробно рассмотрена модель объекта диагностирования и описаны все подмножества его параметров. Функционирование математического аппарата в ПО зависит от глубины диагностирования и от тех подмножеств параметров которые возможно измерить автоматически $V^* = \{v_t \mid t = \overline{1, k-1}\}$, $V^* \subset V$, событий $X^* \subset X$, остальное необходимо измерять человеку для чего и необходима СППР. Если глубина диагностирования позволяет получить все необходимые измерения параметров объекта автоматически, то ПО СТДМ способно в автоматическом режиме обнаружить развивающийся отказ и сообщить о нём персоналу. Для работы с СППР необходимо строить алгоритм диагностирования, дающий минимальное время для обнаружения отказа. С использованием предложенного метода оптимизации данный вопросник синтезируется в ПО СТДМ автоматически по накопленным историческим данным с учётом специфики объекта диагностирования.

Для возможности корректировки работы СТДМ автором в диссертации были сформулированы условия идентификации технического состояния и введено понятие результативной проверки.

Утверждение 1. *Для того, чтобы СТДМ однозначно интерпретировала полученное множество значений диагностических признаков с каким-либо конкретным состоянием объекта диагностирования, требуется, чтобы это множество не являлось собственным подмножеством диагностических признаков, соответствующим другому техническому состоянию:*

$$\forall x_a: \Delta_{x_a} \not\subset \Delta_{x_b}, a \in \{1, 2, \dots, r\}, b \in \{1, 2, \dots, r\} \setminus \{a\}. \quad (8)$$

Утверждение 2. *Множество состояний S разделимо в случае:*

$$\forall x_i, i \in \{1, 2, \dots, r\} \exists q_i \in Q, j \in \{1, 2, \dots, r\}, \quad (9)$$

где q_j – результативная проверка.

Если хотя бы для одной пары технических состояний не выполняется условие (8), то в автоматическом режиме СТДМ не определит состояние объекта диагностирования. В таком случае потребуется производить ручные измерения для доопределения состояния, в котором система находится в действительности. Несмотря на то, что формулировка утверждения 1 представляется тривиальной, необходимо в ПО СТДМ ЖАТ чётко установить критерии принадлежности значений признаков состояний. В диссертационной работе приведено детальное обоснование данного утверждения.

При исследовании теории вопросников в приложении к диагностированию устройств СЖАТ была предложена новая классификация вопросников, охватывающая возможные практические их реализации в ПО СТДМ (рис. 6).

Определение 3. *Статическим вопросником назовём такой вопросник, который имеет единожды заданные параметры числа вопросов, их оснований и цен, а также постоянные значения весов событий.*

Статический вопросник закладывается в программное обеспечение обуча-

ющих программ, как обобщённый для всех устройств автоматики одного типа. Исходные данные для него получают из автоматизированных систем учёта отказов в хозяйстве автоматики и телемеханики.

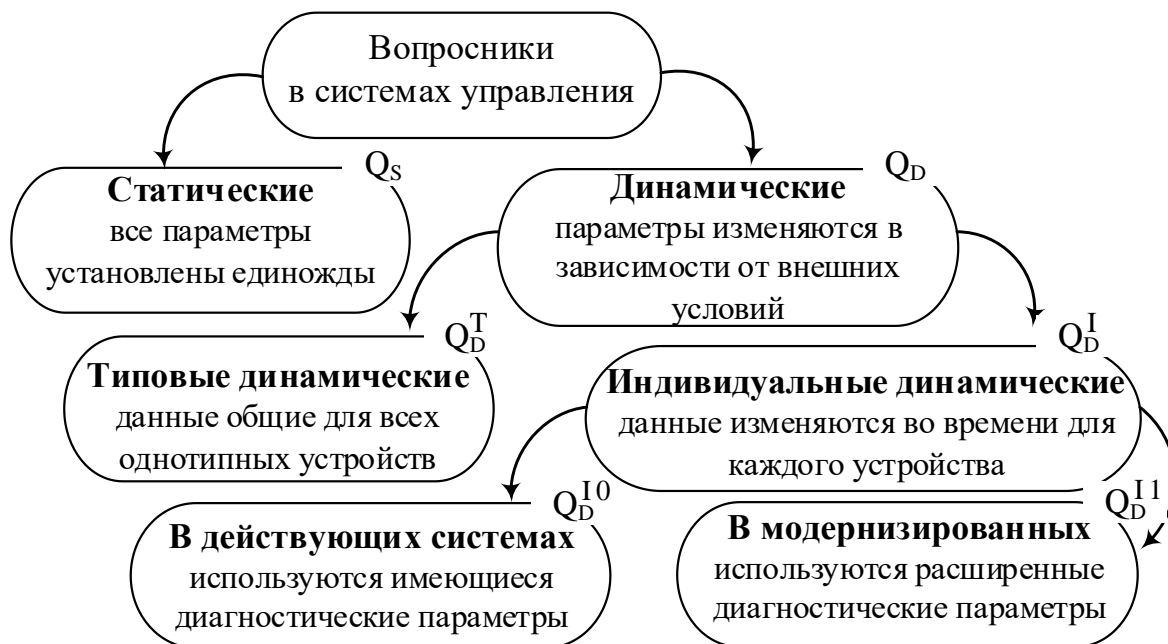


Рис. 6. Качественная классификация вопросников

Определение 4. *Динамическим вопросником назовём такой вопросник, у которого во времени меняются параметры числа вопросов, их оснований и цен, а также значения весов событий.*

В динамических вопросниках вероятности событий будут изменяться во времени из-за непрерывной эксплуатации, возможны периодические замены внутренних частей объекта диагностирования, что, в свою очередь, влияет на значения вероятностей отказов и предостказов в различных его частях. Помимо этого в зависимости от режима работы изменяются цены вопросов. Здесь необходимо ещё раз подчеркнуть то, что устройства ЖАТ расположены на разном удалении от поста централизации, и для производства ручных проверок даже в однотипных устройствах цены вопросов оказываются различными.

На данном этапе развития СТДМ возможно классифицировать динамические вопросники на два типа: типовой динамический вопросник (Q_D^T) и индивидуальный динамический вопросник (Q_D^I). Q_D^T перестраивается в ПО автоматически на основании обобщённых данных по типам устройств. Другими словами, один динамический вопросник будет строиться для всех устройств одного типа (стрелка, светофор и т. д.). Q_D^I формируется в ПО индивидуально для каждого устройства ЖАТ. В свою очередь, Q_D^I делятся на Q_D^{I0} в действующих СТДМ и Q_D^{I1} – в модернизированных СТДМ. Разница заключается в том, что алгоритмы Q_D^{I0} готовы к функционированию с существующими системами и имеющимися множествами параметров объектов диагностирования, а Q_D^{I1} используется при расширении множества диагностических параметров за счёт дооснащения объектов датчиками мониторинга.

Соискателем была проведена работа по анализу типовых отказов объектов диагностирования, перечисленных в системах учёта отказов. Были построены первичные вопросники, которые представлены в тексте диссертации (пункт 5.4.4, таблица 5.10, 5.11), а также проведена работа по применению предлагаемого метода корневого вопроса для их оптимизации. Подробно рассмотрены примеры основных напольных объектов автоматизации: стрелочный привод (СЭП), тональная рельсовая цепь (ТРЦ), светофор. В табл. 2 для примера приведены вопросники Q_D^T для СЭП. Ниже на рис. 7 представлены алгоритмы диагностирования Q_D^T для устройств СЭП, ТРЦ и светофора. Все алгоритмы были синтезированы на основе экспертной оценки эвристически.

В данной главе сформирована дорожная карта внедрения рассмотренного математического аппарата в ПО СТДМ и предложена усовершенствованная архитектура системы мониторинга, в которой учтены и применены все необходимые аспекты для функционирования алгоритмов диагностирования и СППР поиску неисправностей.

Важным является то, что предложенные в диссертации динамические вопросники интегрируются в программные средства СТДМ и на основании данных с датчиков диагностических приборов, поступающих в реальном масштабе времени. Оптимальный вопросник строится автоматически в ПО СТДМ ЖАТ на основании исходных накопленных данных и реальных измеренных величин. Он позволяет техническому персоналу сокращать время на выявление предотказного состояния или отказа.

Такой подход позволяет усовершенствовать технологию мониторинга за счёт учёта реальных параметров объектов мониторинга, а также режимов их функционирования. Исходное множество вопросов и диагностических ситуаций формируется единожды (все не охваченные диагностические ситуации считаются нарушением штатной работы и также учитываются как нештатная диагностическая ситуация), а данные о параметрах вопросников рассчитываются с помощью самообучающихся систем.

Представленные в диссертационном исследовании результаты использованы для совершенствования алгоритмического обеспечения программных средств подсистемы диагностирования и мониторинга микропроцессорной системы централизации стрелок и сигналов на основе программируемых логических контроллеров разработки ООО «ЛокоТех-Сигнал». Данная система запроектирована на станции «Угольная» АО «Кузбассразрезуголь». Планируется внедрение на промышленных предприятиях компании ОАО «Уральская горно-металлургическая компания», а также ряде промышленных предприятий Казахстана и Узбекистана. Кроме того, результаты работы проходят адаптацию к использованию в составе СМИС/СМИК мостового перехода через Керченский пролив.

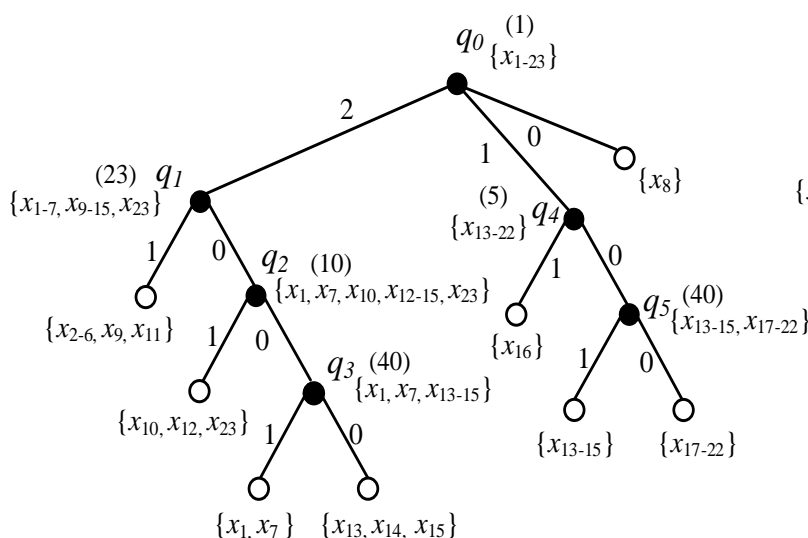
Таблица 2. Информация по Q_D^T алгоритмам СЭП

| Вопросы: | Диагностические события: |
|--|--|
| <p>q_0 – Каково показание амперметра? (Время на проверку 1 мин.)</p> <p>2) Сначала стрелка амперметра делает бросок до 5А, в течении перевода 2А; 1) Стрелка амперметра делает бросок, далее значение тока < 2А; 0) Стрелка неподвижна.</p> <p>q_1 – Обнаруживается ли неисправность стрелочного электропривода после визуального осмотра всех частей автопереключателя и контрольных линеек на наличие излома, а также обнаружена ли неисправность шибера типа «попадание постороннего предмета»? (23 мин.) О: 1) Да. 0) Нет.</p> <p>q_2 – Обнаруживается ли неисправность привода после механической проверки следующих устройств: ослабление крепление контрольных линеек или шибера, неисправность редуктора? (25 мин.) О: 1) Да. 0) Нет.</p> <p>q_3 – В норме ли сопротивление изоляции монтажа? (40 мин.) О: 1) Да. 0) Нет.</p> <p>q_4 – Обнаруживается ли неисправность привода после визуального осмотра курбельного контакта? (5 мин.) О: 1) Да. 0) Нет.</p> <p>q_5 – В норме ли коммутация и двигатель по отдельности? (40 мин.) О: 1) Да. 0) Нет.</p> <p>Для контрольного режима вопросы: q_0 – Отказ устройства произошел на посту ЭЦ? (так как элементы контрольной цепи имеются как на поле, так и в релейном помещении.) (7 мин.) О: 1) Да. 0) Нет.</p> <p>q_1 – Обнаруживается ли неисправность после осмотра всех частей автопереключателя и контрольных линеек. (25 мин.) О: 1) Да. 0) Нет.</p> | <p>Полное множество события СЭП:</p> <p><u>Автопереключатель:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – x_1 разрегулировка контактов; – x_2 излом контактных колодок; – x_3 излом ножевых колодок; – x_4 излом рычагов; – x_5 излом пружин автопереключателя; – x_6 излом контактной ресорной пружины; – x_7 индеевание контактов; <p><u>Фрикционное сцепление:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – x_8 разрегулировка; <p><u>Контрольные линейки:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – x_9 излом; – x_{10} ослабление крепления; <p><u>Шибер:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – x_{11} попадание постороннего предмета; – x_{12} ослабление крепления; <p><u>Монтаж:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – x_{13} обрыв; – x_{14} нарушение изоляции; – x_{15} неисправность клеммной колодки; <u>Курбельный контакт:</u> – x_{16} Неисправность курбельного контакта; – x_{19} неисправность щеточного узла; – x_{20} понижение изоляции; <p><u>Электродвигатель DC:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – x_{17} обрыв обмотки статора; – x_{18} обрыв обмотки якоря; – x_{21} неисправность коллектора; |

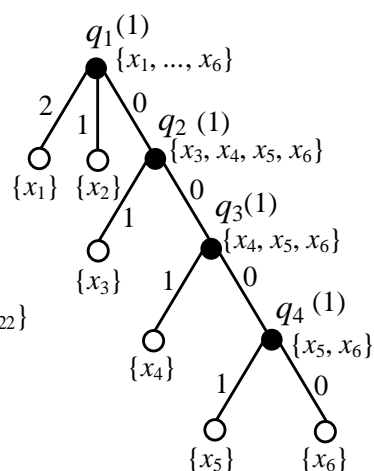
| | |
|--|--|
| <p>q_2 – Обнаруживается ли неисправность привода после механической проверки ослабление крепление контрольных линеек? (5 мин.) <i>О: 1) Да. 0) Нет.</i></p> <p>q_3 – Обнаруживается отказ в устройстве при измерении сопротивления изоляции и токов в монтаже контрольной цепи? (30 мин.) <i>О: 1) Да. 0) Нет.</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> – x_{22} обрыв внутреннего монтажа; – x_{23} неисправность редуктора. |
|--|--|

Q_D^T -вопросник СЭП:

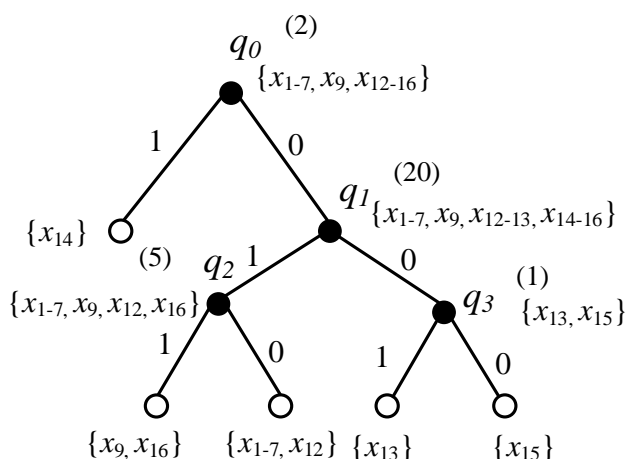
Режим перевода стрелки: (в режиме перевода стрелки вопросник будет полным, так как все составляющие участвуют в работе).



Q_D^T -вопросник ТРЦ:



Контрольный режим СЭП:



Q_D^T -вопросник светофора:

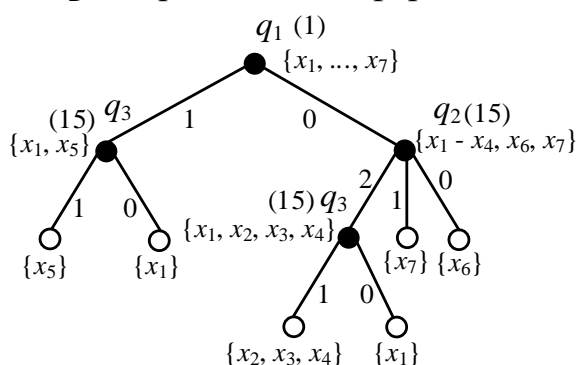


Рис. 7. Примеры Q_D^T алгоритмов диагностирования на основе теории вопросников

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе содержится решение задачи совершенствования алгоритмического обеспечения СТДМ ЖАТ, по предварительной оценке позволяющее сократить время поиска и устранения возникшего отказа на 30–40% по сравнению с используемыми автоматизированными и ручными методами, при этом поставленные в диссертации задачи решены, сформулированная цель достигнута и получены следующие результаты:

1. Проведено исследование возможности оптимизации вопросников по критерию минимума цены обхода. Показано и обосновано, что в практических задачах часто используются неоднородные вопросники и в области технической диагностики зачастую их использование является более эффективным, чем бинарных.

2. Разработаны основные аспекты метода корневого вопроса для оптимизации вопросников, включающих в себя вопросы с основаниями, равными двум и трём. Установлено, что метод корневого вопроса может применяться для оптимизации как однородных, так и неоднородных вопросников, выражение для определения функций предпочтения является общим вне зависимости от вида вопросника, а возможность использования метода ограничивается только установлением отношений сравнения между вопросами.

3. Предложен способ построения и оптимизации бинарно-тернарных вопросников, в которых возможны ошибки и неопределённости в ответах.

4. Введены в рассмотрение динамические вопросники для устройств и систем ЖАТ, обладающие возможностью изменения структур, количества вопросов, параметров цен, оснований вопросов и весов событий. Разработаны их основные виды для напольных объектов ЖАТ. Их использование позволяет совершенствовать технологию мониторинга.

5. Предложена технология адаптации вопросников в ПО СТДМ ЖАТ и подсистем мониторинга в вычислительных комплексах систем управления движением поездов, основной технико-экономический эффект от которой состоит в снижении времени на поиск неисправностей, а также в оперативном установлении предотказных состояний устройств, что позволяет оптимизировать процедуры их технического обслуживания и ремонтов.

Перспектива дальнейших исследований включает в себя поиск методов преобразования типов вопросников на основе расширенных данных об ответственных параметрах объекта диагностирования, исследование процедур поиска перемежающихся отказов, исследование применения теории вопросников при проведении поиска отказов в объектах диагностирования при условии одновременного возникновения более чем одного отказа.

**Основные положения диссертации опубликованы
в следующих печатных изданиях**

Статьи, опубликованные в изданиях, включённых в Перечень ВАК РФ:

1. Ефанов, Д. В. Оптимизация алгоритмов диагностирования железнодорожных стрелочных электроприводов с учётом статистических данных об отказах / Д. В. Ефанов, В. В. Хорошев // Транспорт Урала. – 2018. – №1. – С. 19–25. – DOI: 10.20291/1815-9400-2018-1-19-25.

2. *Ефанов, Д. В.* Комплексный учёт параметров объектов инфраструктуры железной дороги, железнодорожного подвижного состава и автомобильного транспорта для обеспечения безопасности движения на переездах / Д. В. Ефанов, Г. В. Осадчий, Д. Г. Плотников, В. В. Хорошев // Автоматика на транспорте. – 2018. – Том 4. – №2. – С. 167–194.

3. *Ефанов, Д. В.* Проблемы непрерывного мониторинга устройств автоматики на сортировочных горках / Д. В. Ефанов, В. В. Хорошев // Автоматика, связь, информатика. – 2018. – №8. – С. 30–35.

4. *Хорошев, В. В.* Повышение отказоустойчивости устройств автоматического роспуска составов на железнодорожных сортировочных горках с помощью непрерывного мониторинга / В. В. Хорошев // Автоматика на транспорте. – 2018. – Том 4. – №3. – С. 355–379.

5. *Ефанов, Д. В.* Принципы совершенствования информационного обеспечения систем технического диагностирования и непрерывного мониторинга / Д. В. Ефанов, В. В. Хорошев // Т-Comm – Телекоммуникации и Транспорт. – 2019. – Т. 13. – №5. – С. 41–48. – DOI: 10.24411/2072-8735-2018-10270.

6. *Ефанов, Д. В.* Бинарно-тернарные вопросники / Д. В. Ефанов, В. В. Хорошев // Автоматика на транспорте. – 2019. – Том 5. – №3. – С. 391–422. – DOI: 10.20295/2412-9186-2019-3-391-422.

7. *Ефанов, Д. В.* Динамические вопросники для организации систем поддержки принятия решений, интегрированных в программные средства диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики / Д. В. Ефанов, В. В. Хорошев // Автоматика на транспорте. – 2021. – Том 7. – №1. – С. 101–136.

Статьи, опубликованные в изданиях, индексируемых в Scopus и WoS:

8. *Ефанов, Д. В.* Метод упорядочения процедур разбиения состояний процедурами с двумя и тремя исходами с учетом их стоимости и весов состояний / Д. В. Ефанов, В. В. Хорошев // Труды СПИИРАН. – 2020. – №1. – С. 218–243. – DOI: 10.15622/sp.2020.19.1.8.

9. *Khoroshev, V. V.* Actual State Monitoring of Railway Switch Point Blades Based on RFID Technology / V. V. Khoroshev, G. V. Osadchy, D. V. Efanov, V. L. Ivanov, H. N. Vadgama // Proceedings of 15th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2017), Novi Sad, Serbia, September 29 – October 2, 2017, pp. 283-288, doi: 10.1109/EWDTS.2017.8110084.

10. *Efanov, D. V.* Optimization of Conditional Diagnostics Algorithms for Railway Electric Switch Mechanism Using the Theory of Questionnaires with Failure Statistics / D. V. Efanov, V. V. Khoroshev, G. V. Osadchy, A. A. Belyi // Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018), Kazan, Russia, September 14-17, 2018, pp. 237-245, doi: 10.1109/EWDTS.2018.8524620.

11. *Efanov, D. V.* Testing of Optical Sensors in Measuring Systems on Railway Marshalling Yard / D. V. Efanov, G. V. Osadchy, V. V. Khoroshev // Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018),

Kazan, Russia, September 14-17, 2018, pp. 225-230, doi:10.1109/EWDTS.2018.8524798.

12. *Khóroshev, V. V.* Ways of Development of Periodical and Continuous Monitoring Means for Automatic Devices on Marshaling Yards / V. V. Khóroshev, D. V. Efanov, G. V. Osadchii // Proceedings of 1th International Russian Automation Conference (RusAutoCon), Sochi, Russia, September 9-16, 2018, pp. 1-5, doi:10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501720.

13. *Efanov, D. V.* The New Stage in the Safety Traffic Control Technologies Development: Digital Railroad Crossing / D. V. Efanov, G. V. Osadchy, V. V. Khoroshev // Proceedings of 2nd International Russian Automation Conference (RusAutoCon), Sochi, Russia, September 8-14, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867700.

14. *Efanov, D. V.* Diagnostics of Audio-Frequency Track Circuits in Continuous Monitoring Systems for Remote Control Devices: Some Aspects / D. V. Efanov, G. V. Osadchy, V. V. Khoroshev, D. A. Shestovitskiy // Proceedings of 17th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2019), Batumi, Georgia, September 13-16, 2019, pp. 162-170, doi:10.1109/EWDTS.2019.8884416.

15. *Efanov, D. V.* Ternary Questionnaires / D. V. Efanov, V. V. Khoroshev // Proceedings of 17th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2019), Batumi, Georgia, September 13-16, 2019, pp. 289-300, doi: 10.1109/EWDTS.2019.8884404.

16. *Efanov, D. V.* Improving the Monitoring Systems Algorithmic Support for Railway Automation Equipment's Based on Dynamic Questionnaires / D. V. Efanov, V. V. Khoroshev // Proceedings of 18th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2020), Varna, Bulgaria, September 4-7, 2020, pp. 147-158, doi: 10.1109/EWDTS.2019.8884416.

17. *Efanov, D. V.* Decision Support Level in Monitoring Systems for Railway Automation Based on Questionnaire Theory / D. V. Efanov, V. V. Khóroshev // Proceedings of 4th International Russian Automation Conference (RusAutoCon), Sochi, Russia, September 5-11, 2021, pp. 207-213, doi: 10.1109/RusAutoCon52004.2021.9537383.

18. *Efanov, D. V.* Digital Train Traffic Control System with Perfect Level of Diagnostics and Monitoring: Virtual and Radio Interlocking / D. V. Efanov, G. V. Osadchy, V. V. Khóroshev // Proceedings of 4th International Russian Automation Conference (RusAutoCon), Sochi, Russia, September 5-11, 2021, pp. 214-220, doi: 10.1109/RusAutoCon52004.2021.9537526.

Статьи, опубликованные в иных изданиях:

19. *Ефанов, Д. В.* Тернарные вопросы с ошибками и неопределённостями в ответах / Д. В. Ефанов, В. В. Хорошев // Известия вузов. Приборостроение. – 2019. – Т. 62. – №10. – С. 875–885. – DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-10-875-885. (журнал включен в ядро РИНЦ).

20. *Хорошев, В. В.* Непрерывный контроль механических параметров подвижных элементов стрелочных переводов / В. В. Хорошев // Автоматика на транспорте. – 2017.– Том 3. – №1. – С. 69–87.

21. *Ефанов, Д. В.* Развитие технологий мониторинга устройств автоматики с созданием цифровой инфраструктуры / Д. В. Ефанов, В. В. Хорошев // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов: материалы IV международной научно-практической конференции: в 2 ч., Ч. 1 / Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, Белорусская ж. д., Белорусский государственный университет транспорта; под общей редакцией Ю. И. Кулаженко. – Гомель: БелГУТ, 2018. – С. 139–141. – ISBN 978-985-554-766-3 (ч. 1).

22. *Хорошев, В. В.* Обобщённая функция предпочтения для оптимизации вопросников методом корневого вопроса / В. В. Хорошев // Проблемы безопасности на транспорте: материалы IX международной научно-практической конференции: в 2 ч., Ч. 1 / Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, Белорусская ж. д., Белорусский государственный университет транспорта; под общей редакцией Ю. И. Кулаженко. – Гомель: БелГУТ, 2019. – С. 248–249. – ISBN 978-985-554-878-3(ч. 1).

Личный вклад автора

Основные положения диссертационной работы и результаты проведённых исследований получены автором самостоятельно. В работах, опубликованных в соавторстве, вклад автора диссертационной работы заключается в следующем: [1] – проанализированы ответственные параметры стрелочных переводов и электроприводов, статистические данные об отказах, предложено использовать теорию вопросников для синтеза алгоритма диагностирования стрелочного электропривода; [2] – произведён комплексный анализ состояния безопасности движения на железнодорожных переездах, сформированы принципы построения системы мониторинга обстановки транспортного положения на железнодорожном переезде, даны технические предложения по совершенствованию функционирования переездных систем; [3, 4] – проанализированы отказы и наиболее уязвимые компоненты устройств автоматизации сортировочных горок, даны технические предложения по совершенствованию СТДМ устройств горочной автоматизации; [5, 7] – исследованы принципы построения СТДМ с интеграцией СППР, научно обоснованы условия, в соответствии с которыми СТДМ однозначно фиксирует то или иное техническое состояние объекта диагностирования, описаны принципы создания СППР в СТДМ ЖАТ, разработаны основные типы динамических вопросников для напольного технологического оборудования ЖАТ; [6] – введены в рассмотрение и исследованы гетерогенные вопросники с вопросами, имеющими два и три исхода, описаны принципы их оптимизации.

Хорошев Валерий Вячеславович

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМИЧЕСКОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА
УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ
НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ВОПРОСНИКОВ

Специальность 2.9.4 – «Управление процессами перевозок»

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Подписано в печать 21.12.2021 Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л 1,27. Тираж 100 экз. Заказ 36

УрГУПС, 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66