

УДК 004.052.42+681.518.5

Д. В. Ефанов, д-р техн. наук

ООО НТЦ «Комплексные системы мониторинга», Санкт-Петербург

Высшая школа транспорта

Институт машиностроения, материалов и транспорта

Санкт-Петербургского политехнического университета

Петра Великого, Санкт-Петербург

Кафедра «Автоматика, телемеханика и связь

на железнодорожном транспорте»

Российский университет транспорта, Москва

В. В. Хорошев

Кафедра «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте»,

Российский университет транспорта, Москва

**ДИНАМИЧЕСКИЕ ВОПРОСНИКИ
ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ
ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ, ИНТЕГРИРОВАННЫХ
В ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ
И МОНИТОРИНГА УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ
АВТОМАТИКИ**

Рассмотрены особенности систем поддержки принятия решений применительно к области железнодорожного транспорта. Выделены наиболее уязвимые звенья технологического процесса перевозок и обсуждаются пути совершенствования верхнего уровня анализа, организации и управления движением с учетом ограничений на время принятия решения в условиях конфликтных и нештатных ситуаций. Предложено использовать методы теории вопросников при разработке и совершенствовании программных средств систем поддержки принятия решений, интегрированных в программные средства действующих и разрабатываемых систем технического диагностирования и мониторинга. Приводятся подробные примеры в сфере железнодорожной автоматики и телемеханики. Отмечена необходимость построения вопросников с динамическими параметрами весов событий, цен и весов вопросов, а также их количества.

Динамические вопросники являются математической основой алгоритмов диагностирования, описываются на программном уровне систем поддержки принятия решений и используют при автоматической оптимизации исторические и статистические параметры, а также данные, получаемые оперативно в режиме реального времени. Использование методов теории вопросников – обоснованный шаг при совершенствовании программных средств систем поддержки принятия решений. Автоматизация обработки диагностической информации позволяет перейти от систем накопления данных (которыми фактически являются современные системы мониторинга в области транспорта и, непосредственно, железнодорожной автоматики) к системам технического диагностирования и мониторинга, помогающим производить процедуры диагностирования и прогнозирования. Это, в свою очередь, становится основой для установления остаточного ресурса работы объектов диагностирования.

Система поддержки принятия решений; железнодорожный транспорт; управление движением; техническая диагностика и мониторинг устройств управления; теория вопросников; оптимизация; ограничения на время принятия решений

DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-1-101-136

Введение

Практически во всех областях науки и техники определяющую роль в процессах эксплуатации устройств и систем управления играет человек. Несмотря на то, что часть операций и вычислений производится в автоматическом режиме, человек должен не просто подтверждать полученный вариант действий, но и брать на себя ответственность при их реализации. Во многих отраслях функции человека поддаются автоматизации крайне сложно. Пример – диспетчеры, операторы, эксплуатационный и обслуживающий персонал систем критического применения в транспортной отрасли, в т. ч. на железных дорогах [1–3].

В связи с определяющей ролью человека в процессе реализации ответственных функций наиважнейшее значение приобретает его способность оперативно принять решение в сложной технологической ситуации, когда, например, имеется конфликт в протекающих процессах или возник какой-либо дефект. Не всегда человек принимает наилучшее решение в той или иной технологической ситуации, с учетом ограничений на время принятия решений и ликвидации нештатного или конфликтного события. На первый план выходит создание систем поддержки принятия решений (СППР), позволяющих давать подсказки или готовые варианты действий при разборе технологической ситуации [4].

Любая СППР строится по иерархической архитектуре и имеет на периферийном уровне систему устройств, включающую датчики дискретной и аналоговой информации и измерительные контроллеры. А на центральном уровне – программную «оболочку», анализирующую и выдающую информационные сообщения. Можно сказать, что СППР организуется на основе систем мониторинга. Зачастую ввиду больших объемов данных автоматическая система анализа может принять более выгодное решение быстрее, чем человек. Это касается как управления технологическим процессом, так и расследования инцидентов и поиска узлов, функционирующих в нештатном режиме. В сфере железнодорожного транспорта востребованы СППР, входящие в структуры систем организации и управления движением (система «автодиспетчеризации», или train management system [5, 6]), автоматического ведения поездов (система «автомашинист» [7, 8]), мониторинга объектов инфраструктуры и подвижного состава [9–12].

В основе программной «оболочки» лежат вполне определенные алгоритмы, описывающие технологические процессы, а также средства машинного анализа получаемых данных. СППР анализирует множество событий и данных и выбирает наилучший путь разрешения с учетом сложившейся обстановки. Сфокусируем внимание на одной частной задаче – развитии программного

обеспечения СППР для систем технического диагностирования и мониторинга объектов автоматизации на железнодорожном транспорте [4].

1. Техническое диагностирование и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики

Устройства и системы автоматизации на железнодорожном транспорте крайне разнообразны и включают в себя объекты инфраструктурного хозяйства, сложные аппаратно-программные комплексы и подвижные машины (локомотивы, вагоны, дрезины, путевые машины и т. д.) [13]. Одними из важнейших звеньев перевозочного процесса на железных дорогах являются технические средства железнодорожной автоматики и телемеханики, которые предназначены для выполнения информационно-вспомогательных функций безопасного регулирования движения поездов [14, 15].

Комплексы железнодорожной автоматики и телемеханики имеют распределенные структуры, а объекты автоматизации расположены друг от друга на значительных расстояниях, поэтому их устанавливают непосредственно возле объектов управления, а затем посредством кабельных трактов передачи данных соединяют с единым постом централизации управления (постом электрической централизации станции или транспортабельным модулем, расположенным на перегоне). На большинстве участков железных дорог также обустраиваются посты диспетчерской централизации, которая объединяет уже промежуточные посты и позволяет регулировать движение поездов в рамках целого участка железнодорожной линии (диспетчерского круга) [6].

Основные средства железнодорожной автоматики и телемеханики – устройства визуальной передачи данных машинисту (светофоры), приспособления для автоматизации перевода железнодорожных стрелок из одного крайнего положения в другое (стрелочные электроприводы), объекты позиционирования подвижных единиц на участках контроля (рельсовые цепи) [9]. Данные объекты относятся к так называемому напольному технологическому оборудованию и размещаются рядом с железнодорожным полотном (а рельсовые цепи и вовсе используют рельсы для организации контура контроля с помощью электрического тока). По статистике, на напольное технологическое оборудование приходится свыше 75–80 % отказов всех средств железнодорожной автоматики и телемеханики [16].

В процессе эксплуатации напольного технологического оборудования железнодорожной автоматики и телемеханики реализуется стратегия его регламентного технического обслуживания. Это подразумевает проведение технического обслуживания по специально разработанным недельным, месячным, квартальным и годовым графикам. Резкое изменение климатических условий и человеческий фактор сказываются на эффекте от периодического технического обслуживания. Для автоматизации измерительных процедур, направленных

на определение технического состояния напольного оборудования, к объектам постовой автоматики подключают диагностические приборы, затем объединяют их в сеть, устанавливают приемлемый период диагностирования и так организуют систему технического диагностирования и мониторинга. О состоянии напольного технологического оборудования судят косвенно по состоянию постовых объектов. Эта информация не является полной и не позволяет проводить техническое диагностирование с высокой точностью диагноза и последующего прогноза. Но ее достаточно для автоматизации части функций по анализу данных и сокращения времени на локализацию возникшего дефекта и восстановительных процедур.

Система технического диагностирования и мониторинга получает данные от устройств, продолжающих выполнять свои функции, т. е. является системой рабочего диагностирования. В качестве исходных данных для постановки диагноза и последующего прогноза используются:

– входные воздействия на устройства и системы железнодорожной автоматики и телемеханики x_1, x_2, \dots, x_p (текущие состояния компонентов, действия оперативного персонала, дежурных по станциям, нештатные события);

– выходные данные с устройств и системы железнодорожной автоматики и телемеханики y_1, y_2, \dots, y_w (последующие состояния компонентов, определяемые действиями оперативного персонала и дежурных по станциям, нештатными событиями);

– значения диагностических параметров $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$, получаемые от диагностического оборудования, подключенного к объектам диагностирования (ОД). Технические средства диагностирования (ТСД), получившие обозначенные исходные данные, решают задачи диагностирования и прогнозирования, фиксируя ряд диагностических событий $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_z$ (рис. 1).

Состояния объектов диагностирования $S = \{s_i\}, i = 1, 2, \dots, m$ классифицируются на штатные и нештатные, среди которых выделяется множество допустимых отказов и предотказных состояний. Некоторое подмножество $S^* \in S$ идентифицируется системой технического диагностирования и мониторинга автоматически, а для выявления событий из оставшегося подмножества $S \setminus S^*$ требуются процедуры по ручному диагностированию. Технический персонал выполняет последовательность проверок $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n$, из них некоторые могут автоматически реализовываться в программных средствах системы диагностирования и мониторинга.

Исходными данными для построения алгоритма диагностирования являются исторические данные о конкретном объекте диагностирования, условия и режимы функционирования, информация о местоположении объекта и сложности проведения ручного технического диагностирования. Это позволяет для каждого диагностического события иметь значение условной вероятности его возникновения $p(s_i)$, а для каждой проверки — цену ее выполнения в виде показателя времени или эффективности проверки $c(\pi_i)$. Система технического

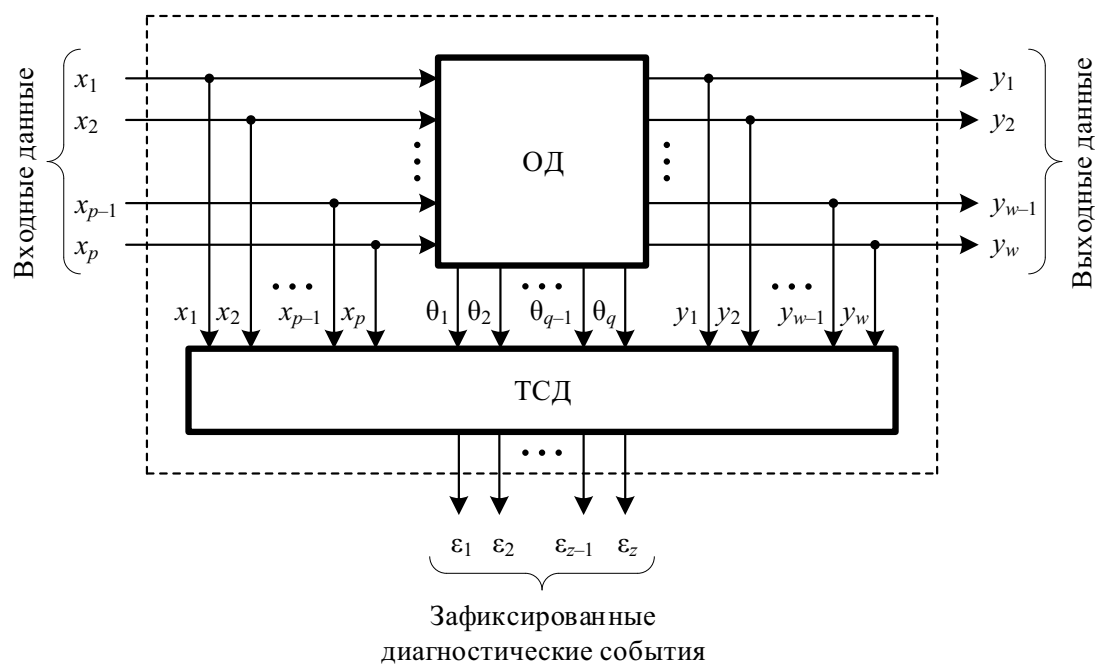


Рис. 1. Система технического диагностирования и мониторинга

диагностирования и мониторинга накапливает эту информацию в базе данных, постоянно пополняя ее и учитывая специфику функционирования объектов диагностирования. Это помогает выбрать наиболее эффективную (с минимумом затрат на реализацию) последовательность проверок, необходимую для локализации дефекта техническим персоналом — при условии, что система диагностирования не смогла автоматически идентифицировать событие.

В качестве математического инструмента удобно использовать аппарат теории вопросников [17–19]. Алгоритм диагностирования представляется в виде вопросника — ориентированного древовидного взвешенного графа. Он строится с учетом исходных данных для каждого объекта диагностирования. Такой вопросник не является «статическим» для каждого конкретного объекта диагностирования. Это именно *динамический вопросник с переменными параметрами* — множеством идентифицируемых событий (которое определяется режимами функционирования и уже зафиксированными состояниями по результатам измерений), числом необходимых для решения задачи идентификации проверок (вопросов), весами событий, ценами, основаниями и весами вопросов. Задача построения вопросника с наименьшей ценой обхода (вопросника, оптимального по критерию минимума цены обхода) в программном обеспечении системы технического диагностирования и мониторинга должна решаться оперативно. Другими словами, сам вопросник должен строиться за разумное время, с учетом операций по оптимизации, выполняемых при его построении.

Технические объекты железнодорожной автоматики и телемеханики зачастую имеют свыше 20 состояний. К примеру, для стрелочного электропривода определено только 23 вида неисправностей согласно автоматизированной си-

стеме управления хозяйством автоматики и телемеханики [20]. Это существенно усложняет процедуру построения вопросника, ведь точные методы оптимизации подразумевают выполнение операций перебора (пусть и направленного). В этом случае эффективными могут оказаться приближенные методы оптимизации вопросников [21].

Отметим еще одну особенность устройств и систем управления. Как правило, измерительные процедуры не ограничиваются постановкой бинарных вопросов, ответы на которые характеризуются вариантами «да»/«нет» («идентифицирован»/«не идентифицирован», 1/0). Многие проверки, в т. ч. связанные с ручным диагностированием (оценка измеренного параметра, визуальные проверки), могут характеризоваться бóльшим количеством исходов [20, 22]. Поскольку время локализации дефекта и проведения восстановительных работ – ключевой фактор в работе эксплуатационного персонала, при построении вопросника нужно учитывать, что использование небинарных вопросов сокращает их число в вопроснике по сравнению с использованием только бинарных вопросов. Значит, можно сократить среднее время идентификации событий по такому вопроснику.

2. Вопросники и их особенности

Основным элементом теории вопросников является вопросник, представляющий собой совокупность множества идентифицируемых событий $S = \{s_i\}$, $i = 1, 2, \dots, m$ и множества $\Pi = \{\pi_j\}$, $j = 1, 2, \dots, n$, необходимых для его разделения на одноэлементные подмножества вопросов. Если совокупность вопросов такова, что разделить исходное множество событий на одноэлементные подмножества невозможно ни при каких условиях, тогда решается задача неполной идентификации. Как правило, на этапе постановки задачи оговаривается полнота исходных данных и осуществляется поиск разбиения при полной или неполной идентификации.

Вопросник задается различными способами. Естественный способ задания – строчная запись с перечислением вопросов, подмножеств их исходов и указанием значений цен вопросов и весов событий. Другим способом задания будет матричная форма (анкета), фактически соответствующая строчной записи [21]. Наиболее наглядная форма задания вопросника имеет вид ориентированного древовидного взвешенного графа [19].

Как отмечено выше, в вопроснике выделяются вопросы и идентифицируемые события. Каждому событию приписан весовой коэффициент $\omega(s_i)$, $s_i \in S$ в виде некоторого абсолютного значения либо весовой коэффициент $p(s_i) = \frac{\omega(s_i)}{\sum_{i=1}^m \omega(s_i)}$, $s_i \in S$ в виде некоторого нормированного числа – условной вероятности возникновения события. При этом $\sum_{i=1}^m p(s_i) = 1$. Каждому вопросу

соответствуют два числа: вес и цена. Под весом вопроса понимается число, равное сумме весовых коэффициентов его исходов. Под ценой вопроса понимается число $c(\pi_j)$, $\pi_j \in \Pi$, характеризующее затраты на его постановку. Цена интерпретируется различными способами: ей могут соответствовать затраты времени на выполнение процедуры, показатель эффективности постановки вопроса и т. д. В области технической диагностики цена вопроса может быть в итоге сведена к показателю времени на реализацию проверки.

Для вопросника могут определяться показатели его реализации. Одним из наиболее важных является цена обхода, характеризующая среднее время идентификации событий по вопроснику: $C = \sum_{j=1}^n p(\pi_j)c(\pi_j)$.

Цены обхода различных вопросников, как правило, различны. На цену влияет то, сколько задается вопросов и для идентификации каких именно событий. Поэтому возникает задача получить такую последовательность вопросов, которая даст в итоге наименьшую (или близкую к таковой) цену обхода вопросника. Вопросник, цена обхода которого для заданных множеств $S = \{s_i\}$, $i = 1, 2, \dots, m$ и $\Pi = \{\pi_j\}$, $j = 1, 2, \dots, n$ минимальна, называется *оптимальным вопросником*. Вопросник, цена которого не оптимальна, но близка к таковой, называется *квазиоптимальным вопросником*. Процесс построения оптимального вопросника называется *оптимизацией*, критерий оптимальности – минимум цены обхода. В ряде задач ограничиваются получением не оптимального вопросника, а именно близкого к таковому, поскольку существуют, например, ограничения на время оптимизации (особенно в задачах, решаемых в реальном масштабе времени).

Существуют точные методы оптимизации – ветвей и границ или динамического программирования [19], а также приближенные, такие как методы «жадной эвристики» [21]. Зачастую применение точных методов носит ограниченный характер, т. к. они основаны на направленном переборе, что, в свою очередь, при большом числе идентифицируемых событий и имеющих вопросов приводит к весьма продолжительному времени оптимизации. Выбор того или иного метода и упрощение самой процедуры оптимизации возможны при идентификации типа вопросника, определяемого классификацией вопросников.

Основная классификация вопросников связана с учетом особенностей вопросов. Так, каждый вопрос характеризуется помимо чисел $p(\pi_j)$ и $c(\pi_j)$ еще и числом $a(\pi_j) \geq 2$ – основанием вопроса (числом его исходов). Если вопросы имеют одинаковые основания, то рассматривается *гомогенный (однородный) вопросник*. Если хотя бы один вопрос имеет основание, отличное от оснований других вопросов, то рассматривается *гетерогенный (неоднородный) вопросник*. При этом если все вопросы в вопроснике имеют основание $a(\pi_j) = 2$, то речь идет о *бинарном (дихотомичном) вопроснике* (все вопросы являются бинарными и характеризуются ответами «да» и «нет», т. е. имеют единичный и нулевой исходы).

Такие вопросники чаще всего используются на практике [21]. Вопросники, для которых $a(\pi_j) > 2$, называются *полихотомичными*. Среди них выделяются те, для которых $a(\pi_j) = 3$ – *тернарные вопросники*. Как показано в [23], тернарным вопросникам (как и вообще любым полихотомичным) присуще свойство изменения основания при постановке их на подмножествах идентифицируемых событий. Изменение основания приводит к изменению типа вопросника – он становится гетерогенным.

Помимо классификации по типу оснований вопросов, выделяются вопросники, характеризующиеся ценами вопросов и весовыми коэффициентами идентифицируемых событий. Выделяются особые классы вопросников: с равноценными и неравноценными вопросами, а также с равновесными и неравновесными событиями.

По своей конструкции вопросники также могут быть статическими и динамическими. *Статический вопросник* строится для определенных объектов, параметры вопросов и событий не меняются во времени. *Динамический вопросник* отличается возможностью изменения как числа вопросов и событий, так и их параметров, в т. ч. может допускать пересечения подмножеств исходов (иметь неопределенности и ошибки при постановке [24]), что приводит к усложнению процедур оптимизации. Статические вопросники строятся для систем и устройств управления с фиксированной структурой без возможности ее реконфигурации. Динамические характеризуют системы и устройства с переменной структурой и с переменной нагрузкой, а это на практике встречается гораздо чаще. Статические вопросники рассматриваются, например, при разработке систем обучения [22], а динамические – при разработке диагностического обеспечения устройств и систем критического применения. Реальные примеры из области железнодорожной автоматики и телемеханики будут приведены далее.

3. Динамические вопросники

Рассмотрим динамические вопросники на примере использования их в программном обеспечении систем мониторинга технических объектов. Такие системы включают в себя объекты диагностирования, набор сенсоров, позволяющих получать дискретные и аналоговые диагностические параметры, сети передачи данных, а также аппаратно-программные средства хранения и обработки диагностических данных [4]. Таким образом, системы мониторинга дают возможность для каждого объекта диагностирования накапливать и анализировать диагностические данные, чтобы идентифицировать события неисправностей. При этом возможна идентификация уже возникших событий отказов (из конечного их множества), а также прогнозирование их возникновения на стадиях докритических (предотказных) состояний [25]. Для каждого объекта диагностирования возможно накопление уникального, присущего только ему множества

диагностических данных, что позволяет даже для однотипных объектов выдавать различные результаты диагноза и прогноза.

Приведем пример из области железнодорожной автоматики [15]. Среди всех объектов железнодорожной автоматики наиболее уязвимы с позиции надежности объекты напольного технологического оборудования – рельсовые цепи и стрелочные электроприводы [16]. На железнодорожных станциях рельсовые цепи и стрелочные электроприводы обычно однотипны, но каждый из них эксплуатируется в различных условиях. Различны могут быть: нагрузка на объекты, влияние подвижного состава, сроки эксплуатации и др. В современных системах мониторинга устройств железнодорожной автоматики особенности однотипных объектов никак не учитываются [4]. Указанное обстоятельство не позволяет производить достаточно эффективную процедуру мониторинга. Доля полезной информации оказывается крайне низкой. Повысить эффективность работы систем мониторинга можно за счет использования динамических вопросников, адаптируемых в программные средства систем мониторинга.

На рисунке 2 приведена классификация вопросников с учетом их особенностей. На первом уровне классификации вопросники разделены на статические Q_s и динамические Q_D . Как уже отмечалось, статические вопросники строятся единожды и никогда не изменяются, а динамические обладают возможностью изменения параметров во времени. Статические вопросники строятся на основании исходных данных, включающих в себя диагностические модели объектов, а также статистические данные, получаемые из опыта эксплуатации типовых объектов диагностирования (в области железнодорожной автоматики данные получают, например, из автоматизированных систем учета отказов [20]). Динамические вопросники могут быть построены для однотипных объектов с общими статистическими данными о процессе функционирования (вопросники Q_D^T) и для каждого из устройств в отдельности – это индивидуальные динамические вопросники (вопросники Q_D^I). Последние разделяются на два класса в зависимости от того, какие исходные диагностические параметры используются в си-

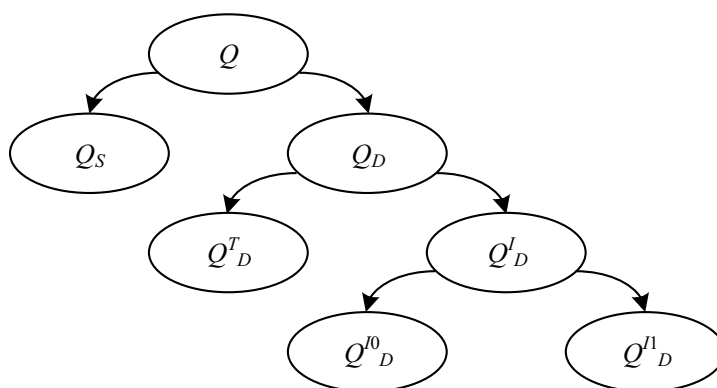


Рис. 2. Классификация вопросников

стемах мониторинга. Это могут быть динамические вопросники для устройств с уже заведенными в систему диагностическими параметрами (вопросники Q_D^{10} типа) или же вопросники, для которых множество диагностических параметров расширяется (вопросники Q_D^{11} типа). Расширение множества диагностических параметров в ряде случаев требуется для большей полноты и глубины диагностирования и последующего прогнозирования.

Рассмотрим принципы построения динамических вопросников для основных объектов напольной автоматизации систем управления на железнодорожном транспорте.

4. Диагностические модели типовых устройств железнодорожной автоматики

Основными объектами управления движением на станциях и перегонах являются распределенные датчики состояния участков пути (рельсовые цепи), устройства автоматического перевода стрелок в крайние положения (стрелочные электроприводы) и устройства передачи команд на движение машинисту (светофоры). Именно данные объекты указываются на схематических планах станций и перегонов при проектировании на них системы сигнализации (рис. 3) [15]. Данные объекты относят к напольному технологическому оборудованию железнодорожной автоматики, так как они расположены в непосредственной близости к железнодорожному полотну («в поле»). Именно данные объекты являются наиболее уязвимыми с позиции надежности. Их работа существенно зависит от внешних условий.

Напольное технологическое оборудование подключается к системе управления движением, устанавливаемой на посту централизации, посредством кабельной сети, развернутой в кабельных траншеях в определенных местах станции. В системе управления реализуются взаимозависимости между стрелками и светофорами, позволяющие организовывать безопасные перемещения поездов и маневровых составов [15].

Сконцентрируем внимание только на основных напольных технологических объектах железнодорожной автоматики. При этом в качестве примера рассмотрим рельсовые цепи тональной частоты [12], стрелочные электроприводы наиболее распространенной марки в России СП-6 (СП-6М) [20] и линзовый входной светофор [15]. На рис. 4 – рис. 6 приводятся диагностические модели данных устройств.

На рисунке 4 в виде блоков показаны: x_1 – путевой генератор (ПГ); x_2 – путевой фильтр; x_3 – путевой трансформатор питающего конца; x_4 – путевая перемычка питающего конца; x_5 – рельсовая линия; x_6 – путевая перемычка приемного конца; x_7 – путевой трансформатор приемного конца; x_8 – путевой приемник (ПП); x_9 – путевое реле. Часть оборудования расположена на посту

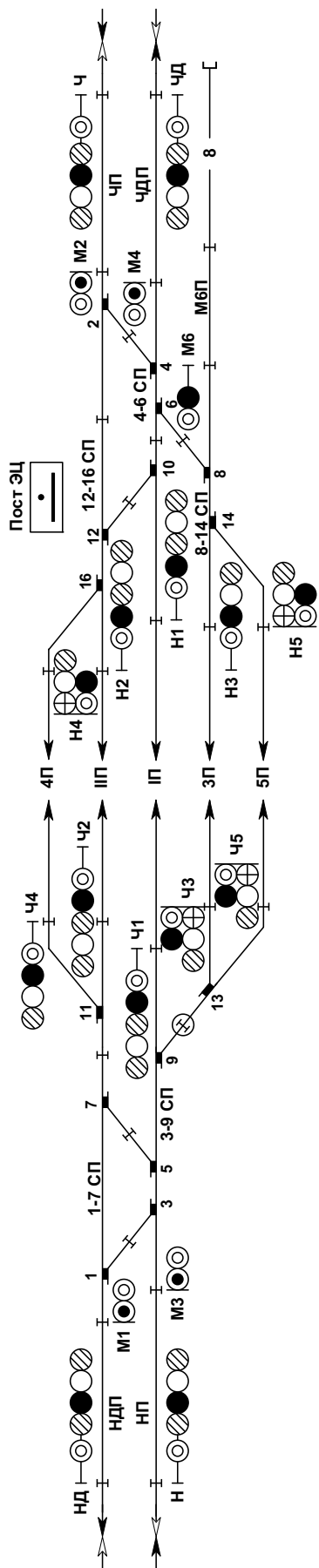


Рис. 3. Схематический план произвольной промежуточной станции

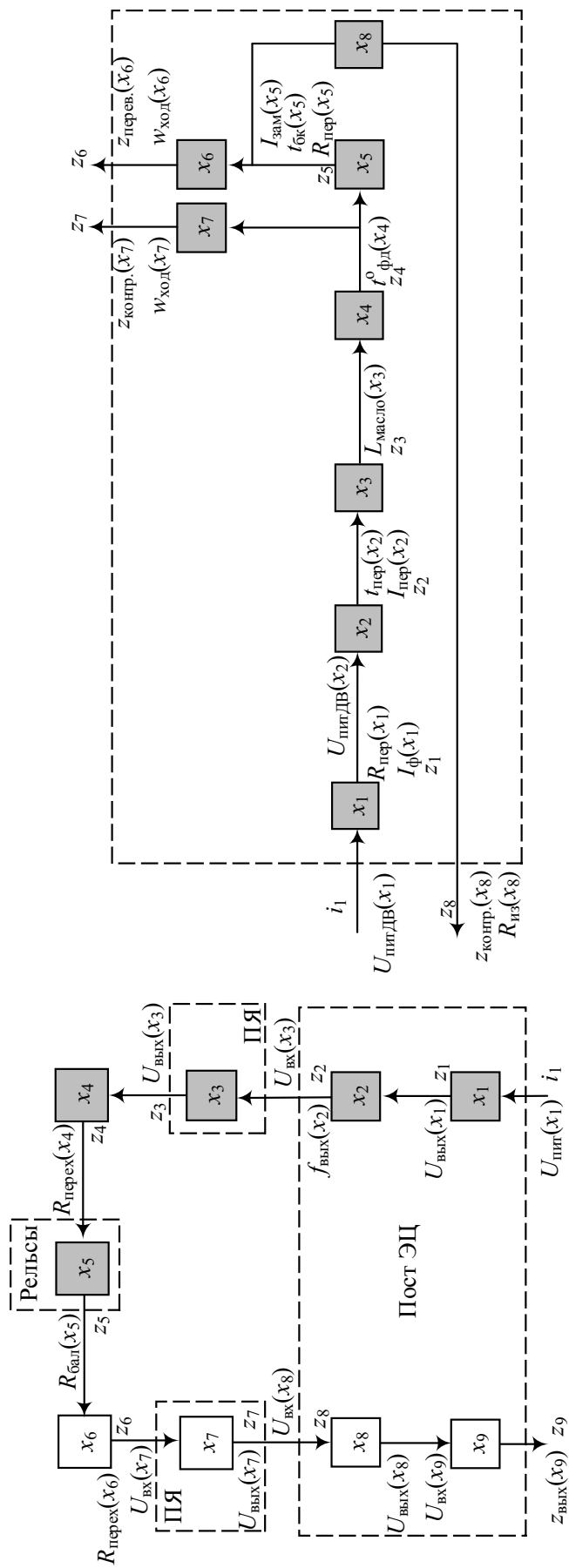


Рис. 4. Диагностическая модель рельсовой цепи тональной частоты

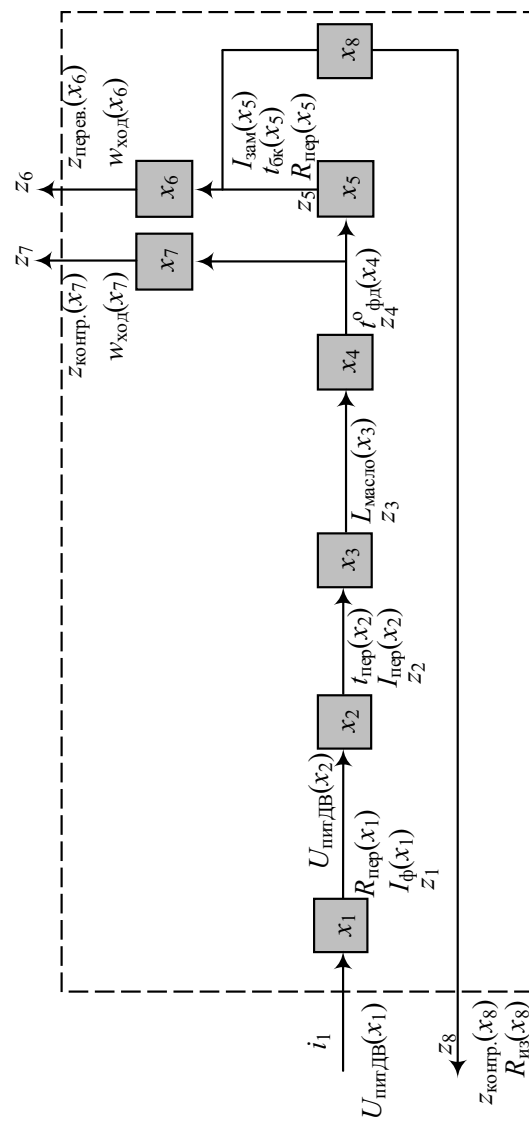


Рис. 5. Диагностическая модель стрелочного электропривода

электрической централизации (ЭЦ), часть — находится в непосредственной близости к железнодорожному полотну и размещено в путевых коробках или ящиках (ПЯ), а также частично совмещено с рельсовой линией (сигнальный ток протекает по рельсам).

Стрелочный электропривод содержит следующие компоненты (см. рис. 5): x_1 — блок-контакт; x_2 — электродвигатель; x_3 — редуктор; x_4 — фрикционное устройство; x_5 — автопереключатель; x_6 — контрольные линейки; x_7 — шиббер; x_8 — монтаж. Все оборудование стрелочного электропривода размещено в чугунном корпусе, закрепляемом при помощи стрелочной гарнитуры к рельсам.

Светофор (см. рис. 6) включает в себя следующие объекты: $x_1, x_5, x_9, x_{13}, x_{17}$ — сигнальные трансформаторы (на схеме — на каждое сигнальное показание по одному, для двухнитевых ламп — по два); $x_2, x_6, x_{10}, x_{14}, x_{18}$ — монтаж; $x_3, x_7, x_{11}, x_{15}, x_{19}$ — ламподдержатель; $x_4, x_8, x_{12}, x_{16}, x_{20}$ — лампы светофора (соответственно лампы желтого верхнего огня, зеленого, красного, желтого нижнего огня и белого огня).

На рисунках 3–6 отмечены цветами (серый фон объектов) различные цепи протекания тока при различных режимах функционирования. Наличие таких режимов работы позволяет синтезировать динамические вопросники для данных устройств, функционирующие в дальнейшем в программном обеспечении систем мониторинга.

Для рельсовых цепей тональной частоты в современных системах мониторинга предусмотрены измерения напряжения питания приемника и путевого реле, выходного напряжения генератора, а также сопротивления изоляции жил кабеля. Для стрелочного электропривода реализованы измерения фазных токов и межфазных напряжений, напряжений питания контрольной цепи, времени перевода стрелки в крайние положения, сопротивления изоляции жил кабеля. Для светофора измеряются напряжение в рабочей цепи и сопротивление изоляции жил кабеля. Все эти параметры в современных системах мониторинга измеряются не на самих объектах, распределенных по станции, а на релейных стативах системы управления, расположенных на посту централизации [4].

Использование представленных выше диагностических параметров для всех однотипных объектов дает возможность построения динамических вопросников типа Q_D^T . В качестве весов событий и цен вопросов здесь будут использоваться общие статистические данные от всех типовых объектов. В настоящее время в системах мониторинга процесс фиксации отклонений от норм реализуется по достижению установленных граничных значений (нормалей). Это не является корректным, т. к. не учитывает конкретные особенности каждого из объектов диагностирования, и приводит к фиксации большого числа ложных диагностических событий. По сообщениям специалистов, доля полезной информации от систем мониторинга железнодорожной автоматики в России крайне низка и составляет около 5% от общего объема данных. Используя те же диагностические параметры, можно синтезировать вопросники Q_D^{10} типа. Для

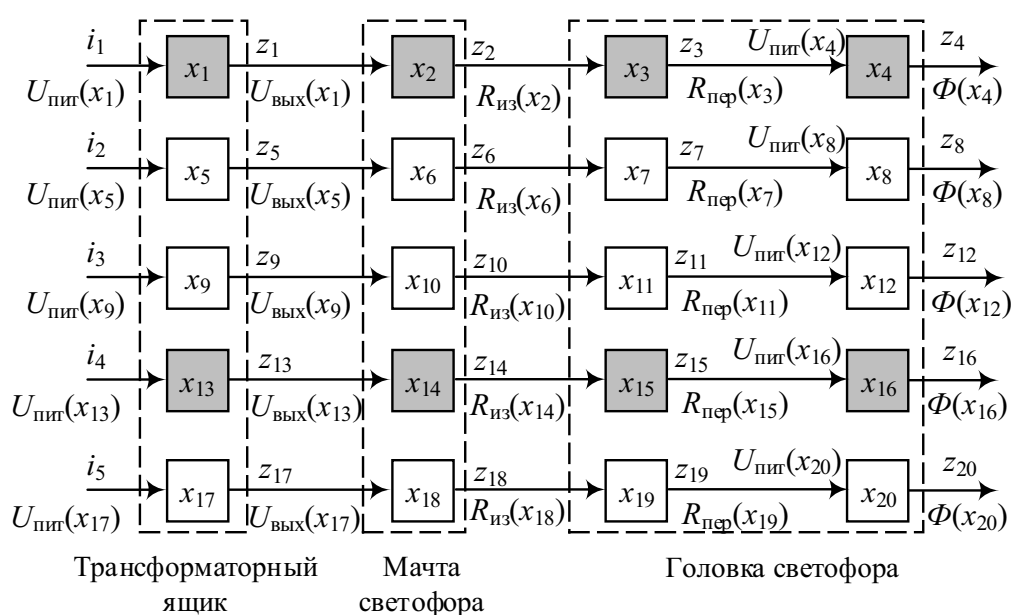


Рис. 6. Диагностическая модель входного светофора

них будут учитываться все физические свойства конкретного объекта диагностирования и все специфические условия его эксплуатации.

Чтобы достигнуть большей полноты и глубины диагностирования и достоверности последующего прогнозирования, необходимо расширить набор диагностических признаков. Для рельсовых цепей тональной частоты требуются также измерения частоты тока на входе и выходе путевого генератора, напряжений и токов на входах путевых приемников и путевых генераторов, сопротивления балласта железнодорожной призмы. Для стрелочных электроприводов необходимо измерение температуры и влажности внутри корпуса привода, уровня и температуры масла во фрикционной муфте, вибрационных воздействий на шибер, механических параметров автопереключателя (ход ножей), а также дополнительно геометрических параметров подвижных частей стрелочного перевода (прежде всего это зазор между острием и рамным рельсом). Для светофора необходимо измерить напряжение и ток в каждой из цепей включения каждой лампы линзового комплекта, углы отклонения мачты от проектных осей и уровень вибрационных воздействий на светофор. Часть этих параметров в настоящее время сложно измерять автоматически, поэтому измерения производятся обслуживающим персоналом. К приведенным диагностическим параметрам следует добавить контроль погодных условий с помощью метеостанции. С представленными диагностическими параметрами можно синтезировать вопросники Q_D^n типа.

В перспективе диагностические данные следует получать непосредственно на каждом из объектов напольной автоматизации, а не удаленно с постовых устройств. Для реализации прямых измерений потребуется установка измерительных контроллеров в непосредственной близости к распределенным по стан-

циям объектам (в путевых коробках, муфтах, шкафах и головках светофоров). Возможно совмещение функций управления и мониторинга в одном конструктивном исполнении с легкоъемными измерительными модулями. Подобные распределенные системы управления движением поездов — ближайшее будущее железнодорожного транспорта [26].

Приведем здесь примеры вопросников различных типов для основных устройств железнодорожной автоматики.

5. Динамические вопросники для рельсовых цепей

На рисунке 7 изображены все четыре типа вопросников для рельсовых цепей тональной частоты. Вопросы в них сформулированы так:

- π_1 : «На выходе ПГ наблюдается медленное падение напряжения, резкий спад или постоянный уровень значения?»;
- π_2 : «На входе ПП наблюдается пульсирующее напряжение между нижним и верхним пределами?»;
- π_3 : «Напряжение на выходе ПГ повысилось на 5–10 %?»;
- π_4 : «Напряжение на входе ПП на минимальном уровне?»;
- π_5 : «Напряжение на входе ПП ниже нормы?»;
- π_6 : «Напряжение на выходе ПП ниже нормы?».

Опишем вопросник Q_S для рельсовой цепи тональной частоты. Корневым является вопрос π_6 , который разбивает полное множество событий на два подмножества: $\{s_4, s_8 - s_{10}\}$ по единичному исходу и $\{s_1 - s_3, s_5 - s_7\}$ по нулевому исходу. Подмножество $\{s_4, s_8 - s_{10}\}$ далее разбивается вопросом π_4 на два подмножества: $\{s_{10}\}$ (идентификация события s_{10} — излом рельса) и $\{s_4, s_8, s_9\}$ (s_4 — короткие замыкания в рельсовых цепях, s_8 — рост переходных сопротивлений и обрывы в тросовых и стыковых соединителях, s_9 — рост переходных сопротивлений и обрывы в путевых коробках и дросселях). Подмножество $\{s_1 - s_3, s_5 - s_7\}$ далее разбивается вопросом π_3 на подмножества $\{s_5 - s_7\}$ и $\{s_1 - s_3\}$. Затем первое подмножество разбивается вопросом π_2 , а второе — π_1 . Это позволяет идентифицировать следующие события: s_1 — предотказное состояние путевого генератора, s_2 — предотказное состояние путевого приемника, s_3 — предотказное состояние путевого фильтра, s_5 — отказ путевого генератора, s_6 — отказ путевого фильтра, s_7 — отказ путевого фильтра.

Вопросники Q_D^T и Q_D^{I0} для рассматриваемого устройства железнодорожной автоматики отличаются только временными характеристиками реализации проверок. Кардинальное отличие имеет вопросник Q_D^{I1} типа. Он реализуется при добавлении новых измерительных точек. Вопросы здесь формулируются иначе, поскольку возможно увеличение полноты диагностирования, а число идентифицируемых событий расширяется до девяти. На полном множестве событий задается вопрос π_1 : «Каков тип отказа?», который автоматически в программном обеспечении позволяет разбить все множество событий на три подмножества

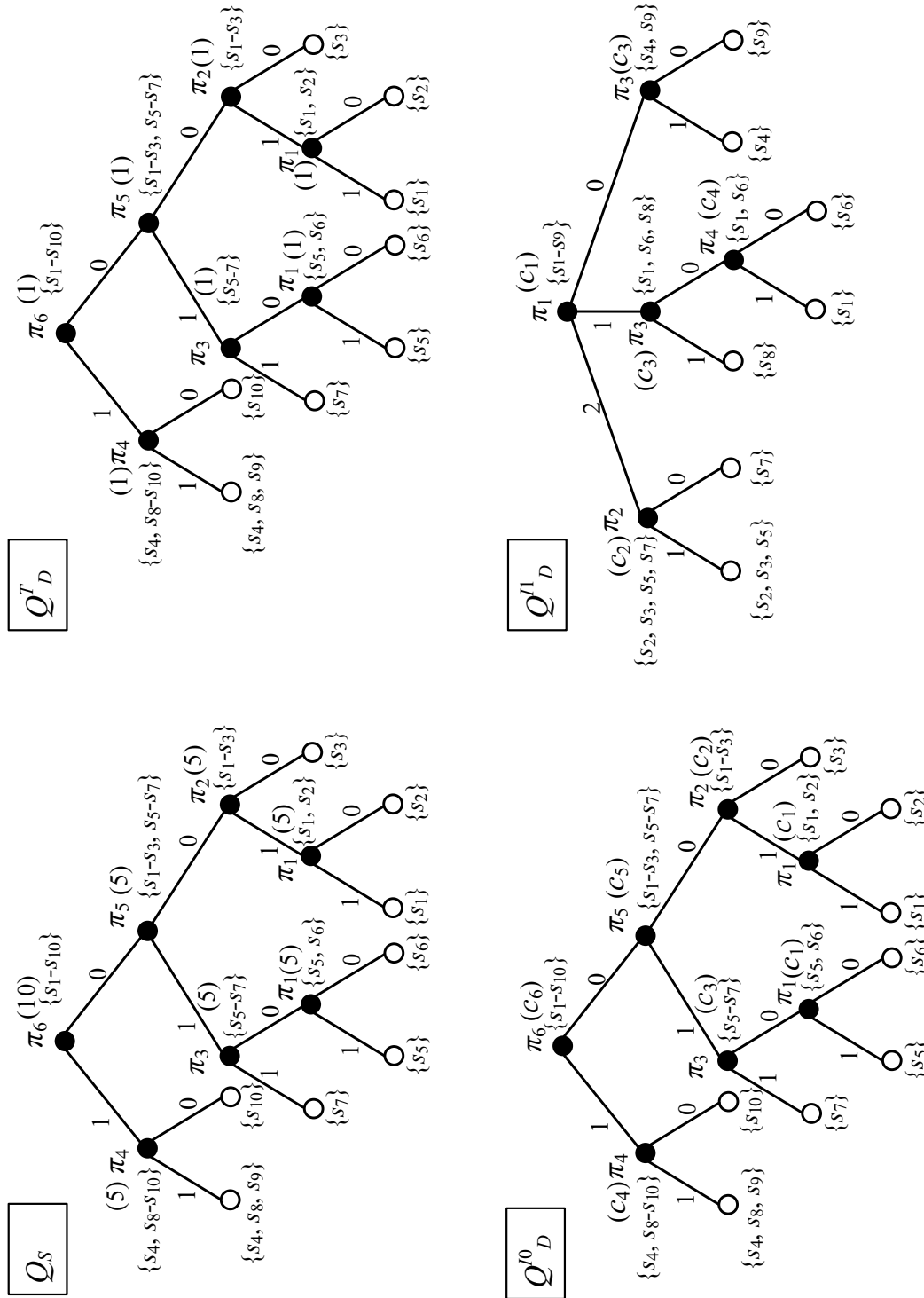


Рис. 7. Семейство вопросов для диагностирования рельсовой цепи тональной частоты

и в зависимости. Если ответом на вопрос π_1 будет исход «2» (отказ типа «ложная свобода»), то формируется подмножество событий $\{s_2, s_3, s_5, s_7\}$. На этом подмножестве для дальнейшей идентификации событий задается вопрос π_2 : «Напряжение на выходе путевого фильтра в норме?». Вопрос π_2 идентифицирует события: s_2 – сторонняя подпитка путевого приемника, s_3 – низкая шунтовая чувствительность, s_5 – короткое замыкание элементов путевого приемника. Данные события идентифицируются по единичному исходу. По нулевому исходу идентифицируется событие s_7 . На подмножествах событий, принадлежащих единичному и нулевому исходам корневого вопроса, формулируется один и тот же вопрос π_3 : «Напряжение на выходе путевого генератора в норме?». Он позволяет разбить подмножество нулевого исхода корневого вопроса на одноэлементные подмножества, соответствующие состояниям s_4 (низкое сопротивление балласта) и s_9 (ненормативная частота тока на выходе путевого генератора, т. е. предотказное состояние путевого генератора). Вопрос π_3 , задаваемый на подмножестве единичного исхода корневого вопроса, позволяет выделить событие s_8 (обрыв связи между приемником и фильтром), а также подмножество, состоящее из событий s_1 (неисправность путевого генератора) и s_6 (отсутствие питающего полюса для путевого генератора). Последнее подмножество разделяется вопросом π_4 : «Напряжение питания генератора в норме?».

Из анализа вопросников, приведенных на рисунке 7, следует, что некоторые события в них остаются неразделенными. Это требует дополнительных проверок, производимых эксплуатационным персоналом дистанций сигнализации, централизации и блокировки. Автоматически, с помощью средств систем мониторинга, ряд событий не удастся идентифицировать. При этом, однако, сокращается время на локализацию неисправности.

Обратим внимание также на то, что вопросники Q_S и Q_D^T содержат численные данные о ценах вопросов и весах событий, т. к. строятся на основании общих статистических данных об эксплуатации технических объектов. Вопросники же типов Q_D^{10} и Q_D^{11} в приведенных примерах не оперируют какими-либо численными значениями, поскольку значения цен вопросов и весов событий определяются для каждого объекта индивидуально с учетом его расположения относительно поста централизации управления, физических параметров и исторических данных об эксплуатации.

6. Динамические вопросники для стрелочных электроприводов

Вопросники для стрелочного электропривода приведены на рисунке 8.

Вопросник Q_S включает в себя следующие вопросы:

- π_1 : «Каково показание амперметра?»;
- π_2 : «Обнаруживается ли неисправность стрелочного электропривода после визуального осмотра всех частей автопереключателя, контрольных линеек и шибера?»;

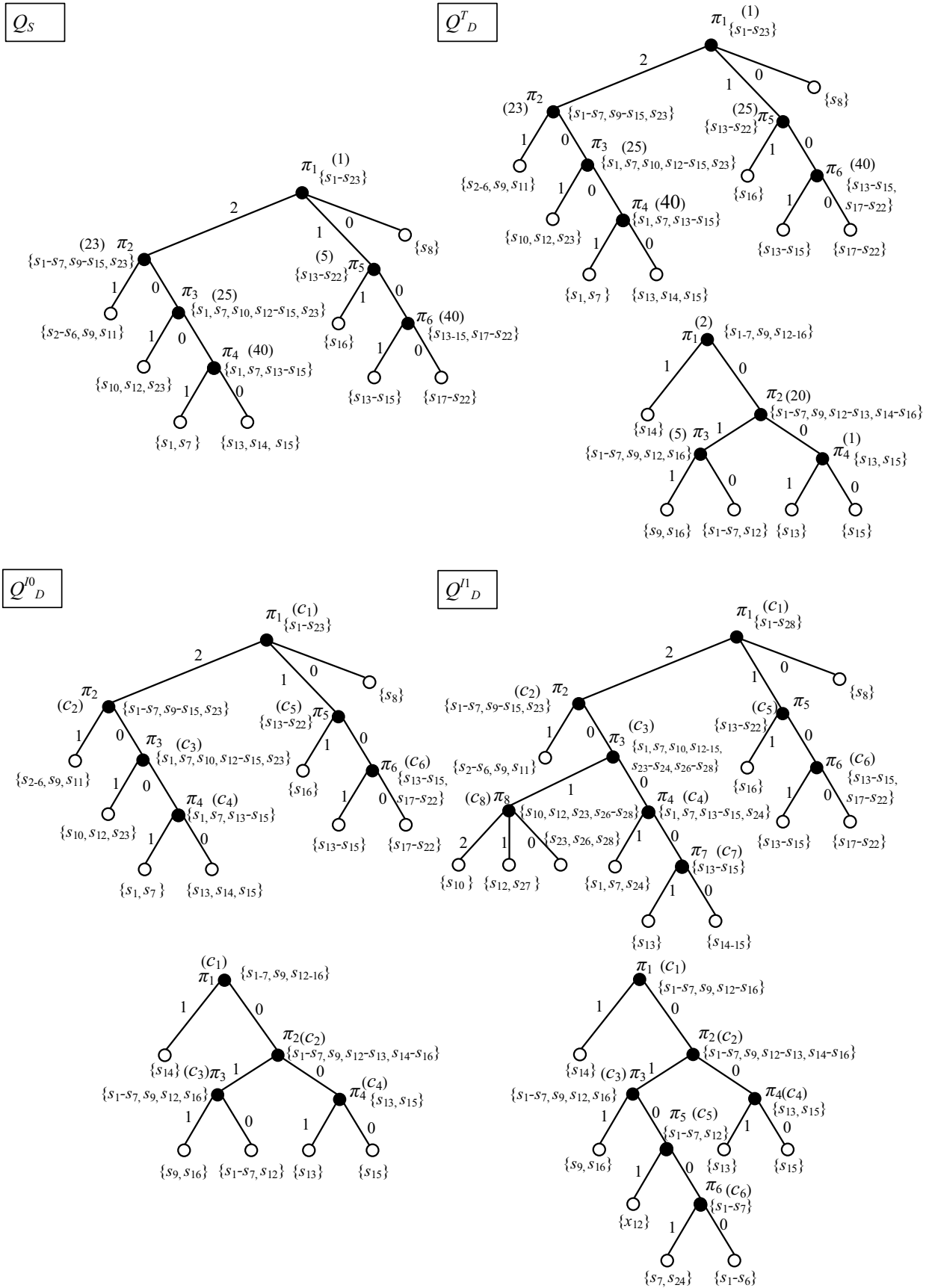


Рис. 8. Семейство вопросников для диагностирования стрелочного электропривода

- π_3 : «Обнаруживается ли неисправность электропривода после механической проверки ослабления крепления контрольных линеек или шибера, а также редуктора?»;
- π_4 : «В норме ли сопротивление изоляции монтажа?»;
- π_5 : «Обнаруживается ли неисправность электропривода после визуального осмотра курбельного контакта?»;
- π_6 : «В норме ли коммутация и двигатель по отдельности?».

Из вопросов ясно, что Q_s строится на основе экспертной оценки. Корневым будет вопрос π_1 . Он разбивает исходное множество событий на три подмножества: $\{s_1 - s_7, s_9 - s_{15}, s_{23}\}$, $\{s_{13} - s_{22}\}$ и $\{s_8\}$. Нулевому исходу корневого вопроса сопоставлен ответ: «Стрелка амперметра неподвижна». Единичному исходу — ответ: «Стрелка амперметра делает бросок, далее значение тока < 2 А». Исходу «2» — ответ: «Сначала стрелка амперметра делает бросок до 5 А, а в течение перевода удерживается на отметке 2 А». По нулевому исходу корневого вопроса идентифицируется событие s_8 (произошла разрегулировка фрикционного сцепления).

События по исходу «2» корневого вопроса разделяются вопросом π_2 . Он выделяет подмножества $\{s_2 - s_6, s_9, s_{11}\}$ и $\{s_1, s_7, s_{10}, s_{12} - s_{15}, s_{23}\}$. Единичный исход вопроса π_2 включает в себя подмножество событий s_2 (излом контактных колодок автопереключателя), s_3 (излом ножевых колодок автопереключателя), s_4 (излом рычагов автопереключателя), s_5 (излом пружин автопереключателя), s_6 (излом контактной рессорной пружины автопереключателя), s_9 (излом контрольных линеек), s_{11} (попадание постороннего предмета, препятствующего движению шибера). Последующая идентификация событий на полученном подмножестве производится ручными проверками. Нулевой исход вопроса π_2 образует подмножество $\{s_1, s_7, s_{10}, s_{12} - s_{15}, s_{23}\}$, на котором задается вопрос π_3 . Он разбивает данное подмножество на подмножества $\{s_{10}, s_{12}, s_{23}\}$ и $\{s_1, s_7, s_{13} - s_{15}\}$.

По единичному исходу идентифицируются события s_{10} (ослабление крепления контрольных линеек), s_{12} (ослабление крепления шибера), s_{23} (неисправность редуктора). Подмножество нулевого исхода разбивается вопросом π_4 на подмножества $\{s_1, s_7\}$ и $\{s_{13} - s_{15}\}$. Единичный исход вопроса π_4 позволяет идентифицировать события s_1 (разрегулировка контактов автопереключателя) и s_7 (индевание контактов автопереключателя).

Вернемся к корневому вопросу. Его единичному исходу соответствует подмножество $\{s_{13} - s_{22}\}$. Оно разбивается вопросом π_5 на подмножества: $\{s_{16}\}$ и $\{s_{13} - s_{15}, s_{17} - s_{22}\}$. Единичный исход этого вопроса позволяет идентифицировать событие s_{16} (неисправность курбельного контакта). По нулевому исходу остается подмножество $\{s_{13} - s_{15}, s_{17} - s_{22}\}$. Оно разбивается вопросом π_6 . Вопрос в зависимости от ответа обнаруживает следующие события: s_{13} (обрыв монтажа), s_{14} (нарушение изоляции монтажа), s_{15} (неисправность клеммной колодки), s_{17} (обрыв обмотки статора электродвигателя), s_{18} (обрыв обмотки якоря элек-

тродвигателя), s_{19} (неисправность щеточного узла электродвигателя), s_{20} (понижение изоляции монтажа), s_{21} (неисправность коллектора электродвигателя), s_{22} (обрыв внутреннего монтажа электродвигателя).

Обратимся к динамическим вопросникам для стрелочного электропривода. На рисунке 8 для каждого типа динамических вопросников приведены по два вопросника. Первый (верхний) соответствует рабочему режиму перевода стрелки и, соответственно, активному режиму работы двигателя. Второй (нижний) соответствует контрольному режиму работы, когда двигатель электропривода отключен.

Типовой динамический вопросник Q_D^T реализован следующим образом. Верхний вопросник отличается только ценами вопросов, т. к. использование системы мониторинга позволяет сократить время на постановку вопросов. Примером изменения времени реализации проверки может служить вопрос π_3 . Например, в вопроснике Q_S цена вопроса отмечена как 25 минут, а в вопроснике Q_D^T – как 10 минут. Причина в том, что в вопроснике Q_D^T удалено время на проход к месту расположения электропривода, поскольку проверка π_3 выполняется после проверки π_2 которая производится уже на месте установки привода. В контрольном режиме имеется множество событий, соответствующих контрольному режиму работы стрелочного электропривода: $\{s_1 - s_7, s_9, s_{12} - s_{16}\}$. Для поиска неисправностей в контрольном режиме на данном множестве задается вопрос π_1 : «Отказ устройства произошел на посту централизации?». Поясним для широкого круга читателей: элементы контрольной цепи располагаются как непосредственно «на поле» (возле железнодорожного пути), так и в релейном помещении поста централизации. Рассматриваемое множество разбивается на два подмножества: $\{s_{14}\}$ и $\{s_1 - s_7, s_9, s_{12} - s_{13}, s_{15} - s_{16}\}$. По единичному исходу вопроса происходит идентификация события s_{14} (нарушение изоляции монтажа стрелочного электропривода). На подмножестве $\{s_1 - s_7, s_9, s_{12} - s_{13}, s_{15} - s_{16}\}$ задается вопрос π_2 : «Обнаруживается ли неисправность после осмотра всех частей автопереключателя и контрольных линеек?». Вопрос разбивает подмножество событий на два многоэлементных подмножества. Подмножество единичного исхода вопроса разбивается новым вопросом π_3 («Обнаруживается ли неисправность привода после механической проверки ослабления крепления контрольных линеек?»), а подмножество нулевого исхода – новым вопросом π_4 («Обнаруживается отказ в устройстве при измерении сопротивления изоляции и токов в монтаже контрольной цепи?»). Вопрос π_3 идентифицирует такие события: s_1 (разрегулировка контактов автопереключателя), s_2 (излом контактных колодок автопереключателя), s_3 (излом ножевых колодок автопереключателя), s_4 (излом рычагов автопереключателя), s_5 (излом пружин автопереключателя), s_6 (излом контактной рессоры автопереключателя), s_7 (индевание контактов), s_9 (излом контрольной линейки), s_{12} (ослабление крепления шибера). Вопрос π_4 идентифицирует события s_{13} (обрыв монтажа) и s_{15} (неисправность клеммной колодки).

Вопросник Q_D^{10} похож на вопросник Q_D^T – за тем лишь исключением, что цены вопросов и веса событий формируются для каждого конкретного устройства индивидуально.

Вопросник же Q_D^{11} построен с учетом возможностей расширения числа контрольных точек, в которых диагностические параметры измеряются автоматически. Благодаря увеличению автоматически контролируемых параметров устройств появляются новые вопросы и меняются формулировки уже имеющихся. В качестве примера приведем вопрос π_3 . В Q_D^{10} вопрос π_3 сформулирован так: «Обнаруживается ли неисправность привода после механической проверки следующих устройств: ослабление крепление контрольных линеек или шибера, неисправность редуктора?». В Q_D^{11} вопрос π_3 выглядит иначе: «Имеются ли посторонние ударно-вибрационные воздействия?». Также добавлены вопросы π_7 («Соппротивление изоляции кабеля в норме?») и π_8 («Отказы, выявленные по токовой диаграмме перевода и данным с акселерометра?»). Вопрос π_7 задается на подмножестве $\{s_{13} - s_{15}\}$. По единичному исходу данного вопроса идентифицируется событие s_{13} , а по нулевому исходу – события s_{14} и s_{15} . Вопрос π_8 задается на подмножестве $\{s_1, s_7, s_{10}, s_{12} - s_{15}, s_{23} - s_{24}, s_{26} - s_{28}\}$. По исходу «2» идентифицируется событие s_{10} . По единичному исходу идентифицируются события s_{12} и s_{27} , а по нулевому – события s_{23}, s_{26}, s_{28} . Как можно заметить, с увеличением контрольных точек расширяется подмножество диагностических событий, куда вошли события s_{24} (наличие влаги), s_{25} (низкий уровень масла в редукторе), s_{26} (неплавный ход острияков), s_{27} (увеличенный/уменьшенный зазор между острияком и рамным рельсом), s_{28} (вероятное загрязнение башмаков).

По аналогии с описанным выше для рабочего режима добавляются и вопросы для контрольного режима. Вопрос π_5 : «Имеется ли ударно-вибрационные воздействия на шибер при прохождении поезда?». Вопрос π_6 : «Влажность и температура в приводе в норме?».

7. Динамические вопросники для светофоров

Для входного светофора используются вопросники, изображенные на рисунке 9.

Вопросник Q_5 подразумевает в качестве корневого использование вопроса π_1 , формулируемого так: «Есть ли напряжение питания в трансформаторном ящике?». Он разделяет исходное множество событий на три подмножества. Подмножества единичного и нулевого исходов одноэлементны. Вопрос π_1 позволяет идентифицировать события s_6 (понижение изоляции кабеля) и s_7 (отсутствие питания, приходящего из релейного шкафа). Исходу «2» корневого вопроса соответствует подмножество $\{s_1 - s_5\}$. На нем для дальнейшей идентификации событий задается вопрос π_2 : «Имеется ли на выходе с сигнального трансформатора нормативное напряжение?». По нулевому исходу данного вопроса идентифицируется событие s_1 (отказ сигнального трансформатора). Под-

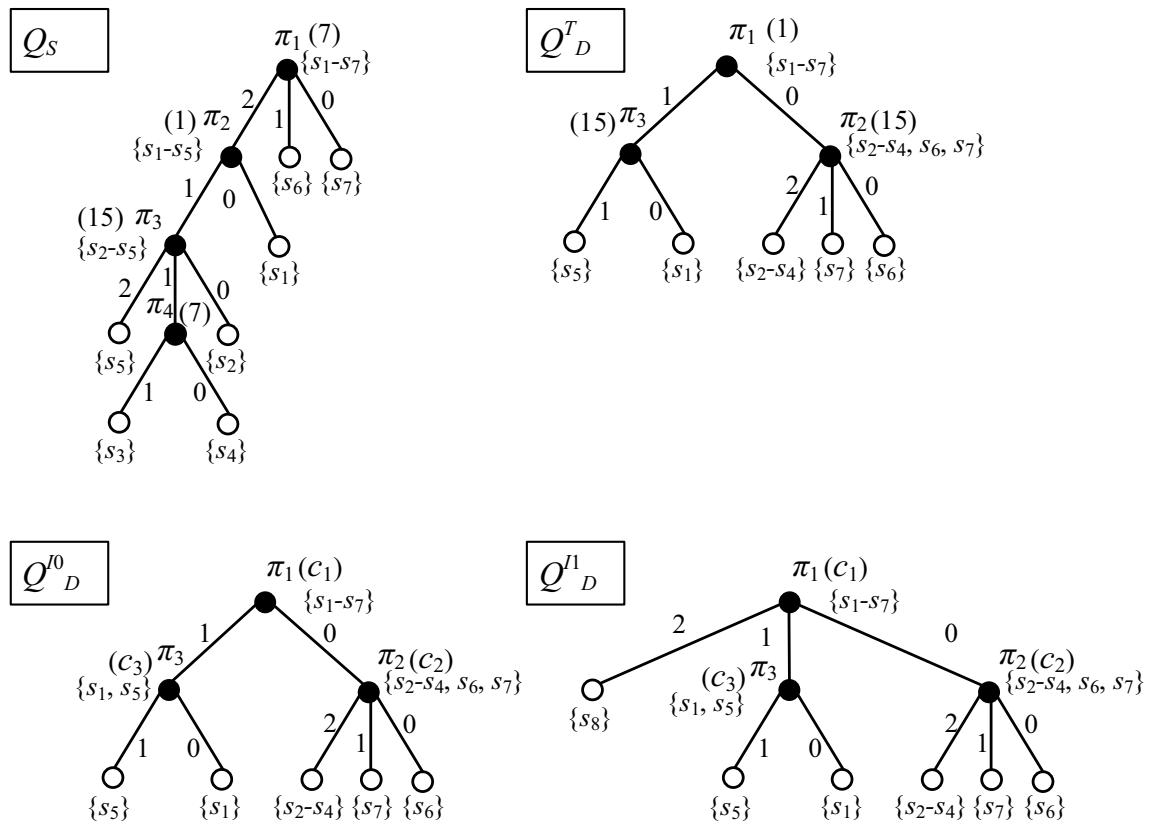


Рис. 9. Семейство вопросников для диагностирования входного светофора

множество единичного исхода вопроса π_2 является многоэлементным: $\{s_2 - s_5\}$. Для его дальнейшего разбиения используется вопрос π_3 («Каково напряжение на клеммах ламподержателя?»), а затем — π_4 («Восстановилось ли напряжение после чистки ламподержателя?»). При постановке вопроса π_3 возможна идентификация событий s_5 (неисправность лампы) и s_2 (обрыв жил коммутации). При постановке вопроса π_4 на единичном исходе предыдущего вопроса идентифицируются события s_3 (плохой контакт в ламподержателе) и s_4 (повреждение коммутации).

Вопросник Q_D^T для светофора отличается от вопросника Q_S . Исходное множество событий в нем разбивается вопросом π_1 : «Каков тип отказа?». Далее подмножество единичного исхода корневого вопроса разбивается вопросом π_3 : «Имеется ли на выходе с трансформаторного ящика нормативное напряжение?». В этом случае определяются события s_5 (неисправность лампы) и s_1 (отказ сигнального трансформатора). Подмножество нулевого исхода корневого вопроса разбивается вопросом π_2 : «Приходит ли напряжение питания на сигнальный трансформатор?». Он может иметь три варианта ответа: исход «2» — «Да, имеется», исход «1» — «Нет, отсутствует», исход «0» — «Да, имеется, но пониженное». Постановка вопроса π_2 позволяет идентифицировать события s_7 (отсутствие электропитания, приходящего из релейного шкафа) и s_6 (пони-

жение сопротивления изоляции кабеля). Также есть третий исход (исход «2») вопроса π_2 , по которому идентифицируются события s_2, s_3, s_4 (их трактовка дана выше).

Аналогичен описанному вопросник Q_D^{10} , для которого, однако, цены вопросов и веса событий определяются индивидуально по каждому объекту диагностирования.

Вопросник Q_D^{11} для светофора может содержать на одно состояние больше. Например, добавление датчика инклинометрии позволяет идентифицировать дополнительное событие s_8 (ненормативное отклонение мачты). Такое событие идентифицируется по третьему исходу корневого вопроса π_1 .

Отметим, что в диагностической модели светофора (см. рис. 6) имеется несколько отдельных цепей включения ламп. Физически эти цепи разделены, но питание поступает от единого источника. В приведенных на рисунке 9 вопросниках все однотипные неисправности для разных показаний светофора унифицированы и объединены. Другими словами, вопросник работает для тех ламп, которые находятся под нагрузкой. Все неисправности идентифицируются для рабочих объектов в соответствующем режиме.

Поиск неисправностей в монтаже может быть углублен до уровня одной жилы, т. к. в мачте светофора укладывается жгут, а в жгуте отдельные провода питают разные лампы. В реальных условиях к приведенному множеству отказов светофора можно добавить неисправность лампы красного огня, обрыв жилы питания красного огня светофора, неисправность лампы желтого огня, обрыв жилы желтого огня светофора и т. д. Впрочем, это можно учесть на программном уровне системы мониторинга и выделять неисправности логически.

8. Особенности выбора параметров вопросников

При адаптации вопросников в программные средства систем мониторинга необходимо заносить в базу данных их индивидуальные параметры. Все остальные параметры настраиваются единожды (особенности формализации первичных вопросов будут освещены в следующем разделе статьи) и затем обновляются и уточняются с учетом особенностей эксплуатации объектов диагностирования.

Возникает вопрос: как же определяются параметры вопросника – такие как число вопросов, их основания, цены и веса, а также веса событий?

Изменение весов событий и цен вопросов происходит по ряду особенностей объектов диагностирования. Такие особенности присущи целой группе устройств, отдельному устройству или его видам. Если речь идет о динамических типовых вопросниках, тогда единственной особенностью будет тип объекта диагностирования. К примеру, стрелочные электроприводы на железнодорожной станции. Зачастую в границах одной станции эксплуатируется один и тот же вид стрелочных электроприводов. Стрелочные электроприводы имеют одно и то же

множество состояний, которые в системе мониторинга могут быть определены по множеству контролируемых диагностических параметров. Для одного типа устройств это множество параметров одинаково. Аналогично по видам можно разделить все остальные объекты железнодорожной автоматики.

В случае динамических индивидуальных вопросников система мониторинга может иметь индивидуальные параметры для каждого устройства, что позволяет строить вопросник, соответствующий более достоверным данным о параметрах поиска неисправности или предотказного состояния. К особенностям устройства нужно отнести его местоположение (учет местности, на которой он расположен, влажность грунта, заснеженность, воздействие солнца), нагрузку на объект со стороны подвижных единиц, учет замены аппаратуры, наработку на отказ. Все это влияет на распределение условных вероятностей событий (отказов и предотказов) между составными элементами в объекте диагностирования. Тогда производится динамическое изменение условных вероятностей событий путем пересчета в программных средствах системы мониторинга с использованием всей приведенной выше информации об объекте диагностирования.

Еще один динамический параметр — цена вопроса. Ее динамическое изменение происходит по причине пересчета времени на проверку. Он может быть осуществлен исходя из нескольких обстоятельств, например различных цен выполнения процедур идентификации событий в разное время суток и в разные периоды года, в условиях разных режимов функционирования. Даже когда мы говорим о вопросниках, строящихся для однотипных устройств, но расположенных с разной удаленностью от поста централизации управления, цены вопросов должны быть скорректированы.

Обратим на это внимание читателя. Как правило, при поиске неисправности в объекте напольной автоматизации на железнодорожном транспорте учитывается и время следования к объекту диагностирования. Это позволяет прогнозировать время локализации неисправности. Расчет расстояния от объекта диагностирования до обслуживающего персонала может производиться путем внесения данных в систему мониторинга либо путем стыковки с действующими системами электронного документообеспечения [27]. Может учитываться точная геопозиция обслуживающего персонала, определяемая различными методами. Например, с учетом использования геопозиции личного мобильного телефона и передачи этой информации в систему мониторинга в момент возникновения неисправности или геопозиции дополнительных носимых элементов (специализированных браслетов, часов и т. п.). Изменение цены вопроса относительно поставленных проверок происходит из-за того, что некоторое подмножество проверок необходимо производить на посту централизации, а некоторое другое их подмножество — на самом объекте напольной автоматизации. При построении динамического вопросника последовательность постановки проверок влияет на время их реализации. Если требуется произве-

сти некоторое множество проверок только на устройстве, то время на дорогу до объекта учитывается только в цене вопроса первой проверки в вопроснике. Если вопросник подразумевает проверки и на посту централизации управления и на объекте диагностирования, то учет времени на дорогу до объекта или поста ведется только в первой проверке, следующей за перемещением персонала до места ее проведения. Цена вопроса меняется и в зависимости от количества персонала, занятого проверками. Нахождение одного работника на объекте диагностирования, а другого на посту централизации сократит время на передвижение.

Простейший и наглядный пример формирования цены проверки представлен на рисунке 10. Приведен фрагмент однониточной схемы-плана станции с двумя маршрутами до стрелочных электроприводов на станции (стрелок № 6 и № 7) от поста централизации управления. При реализации одной и той же проверки со временем $t_{пр1}$ на стрелочных электроприводах обоих стрелок к цене проверки будет прибавлено разное время следования к объекту диагностирования. Соответственно, стрелка № 6 будет проверена быстрее, чем стрелка № 7.

Изменение распределения вероятностей возникновения событий (весов событий) между составными частями стрелочного электропривода, как уже ранее говорилось, происходит по причине разных условий эксплуатации даже в пределах одной станции. Опишем простой пример изменения весов событий на примере двух стрелочных электроприводов стрелок № 12 и № 18. Данные стрелки выделены на рисунке 11. Предположим, что стрелочные электроприводы имеют следующие особенности эксплуатации.

Стрелочный электропривод стрелки № 12 имеет такие показатели:

- в среднем число переводов за сутки – 90;
- число поездов в сутки – 25 пассажирских, 30 грузовых, 15 пригородных, 25 маневровых;
- двигатель был установлен 23 дня назад по причине периодической замены;
- срок установки СЭП – 12 июня 2019 года;
- последние процедуры обслуживания производились четыре дня назад;
- сам привод располагается в районе болотистой местности с плохим водоотводом;
- два дня назад работники путевой части производили затяжку корней остряков и затянули болты с усилием более нормативных значений.

Стрелочному электроприводу стрелки № 18 присущи такие особенности:

- среднее число переводов за сутки – 10;
- число поездов в сутки – 12 маневровых, часто стоят составы с удобрением с завода неподалеку от соседней станции;
- двигатель был заменен 62 дня назад по причине периодической замены;
- срок установки привода – 28 апреля 2016 года;
- последние процедуры по обслуживанию производились два дня назад;

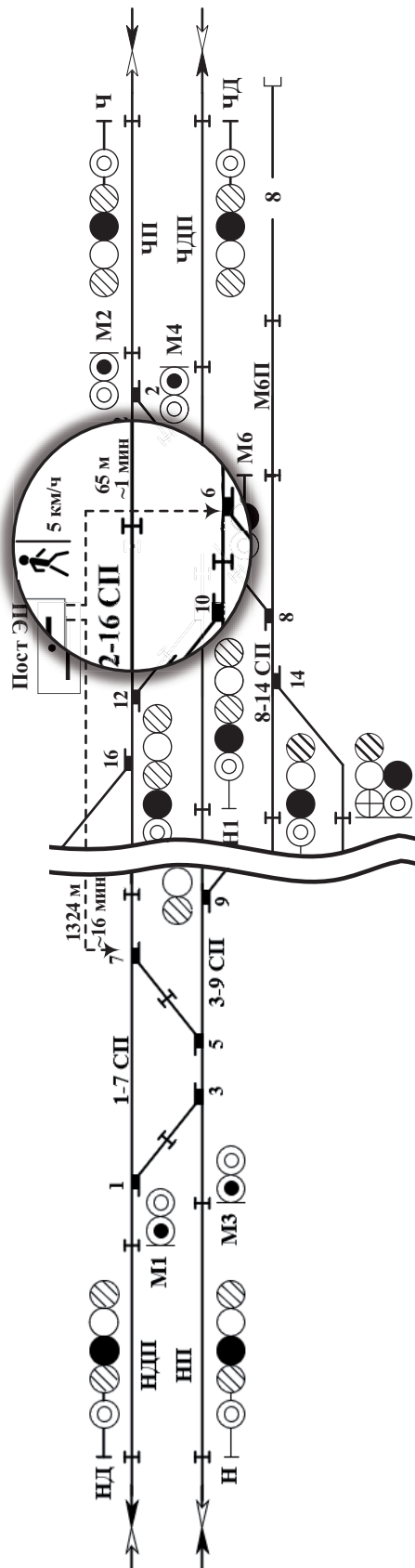


Рис. 10. Схематический план станции с указанием маршрутов перемещения обслуживающего персонала

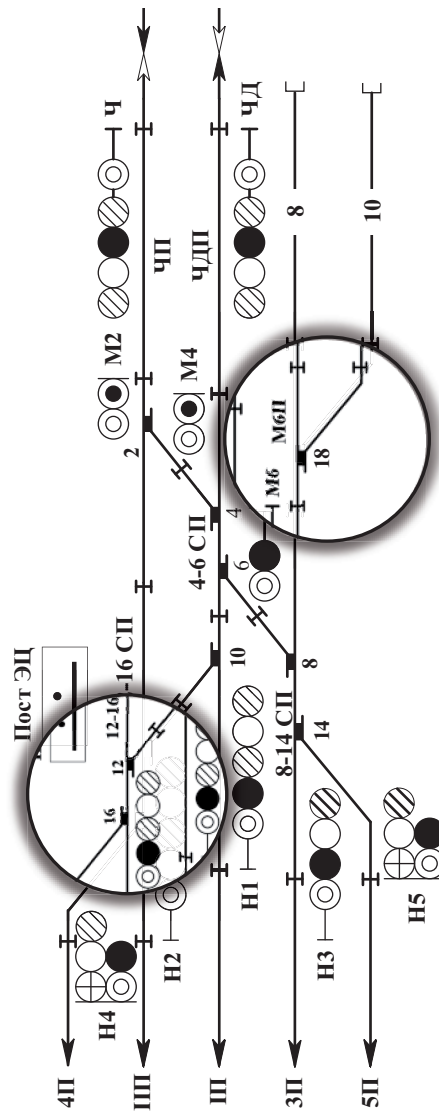


Рис. 11. Схематический план станции с указанием стрелочных переводов

- по стрелке в основном перевозят вагоны с удобрениями и производят маневры;
- стрелка переводится довольно редко.

Большую нагрузку испытывает стрелочный электропривод на стрелке № 12, т. к. находится на главном пути и через стрелку проходит основной поток поездов. Стрелка № 18 испытывает меньшее число нагрузок, поскольку ведет в тупики. Количество переводов стрелки № 18 не превышает число переводов стрелки № 12. Значит, наработка на отказ стрелки № 12 больше.

Веса событий на первом этапе определяются с учетом имеющейся статистики по всем объектам ОАО «РЖД». Например, так, как это сделано в [20], на основании систем учета отказов.

На втором этапе данные уточняются для каждого объекта диагностирования индивидуально самой системой мониторинга.

9. Алгоритм формализации исходных вопросов

Отметим следующую особенность предлагаемой технологии мониторинга на основе динамических вопросников. Первоначально требуется формализовать исходные вопросы и внести их в базу данных аналитической подсистемы системы мониторинга. Эта задача не так сложна, как кажется. Все объекты железнодорожной автоматики классифицируются на типы и классы (подобно тому, как это сделано в системах автоматизированного проектирования схемных решений железнодорожной автоматики [28]).

Число типов и классов устройств железнодорожной автоматики невелико. Выше рассмотрены три основных типа напольного оборудования железнодорожной автоматики – рельсовые цепи, стрелочные электроприводы и светофоры. Классы – конкретные виды данных устройств. В рассматриваемом примере использован класс тональных рельсовых цепей, электроприводов марки СП-6М с двигателем переменного тока и входной пятизначный светофор. Требуется описать исходные формулировки вопросов единожды для конкретного типа и класса устройств железнодорожной автоматики.

Алгоритм постановки начальных вопросов следующий.

1. Устройства железнодорожной автоматики разделяются на множества типов $T = \{T_1, T_2, \dots, T_k\}$ и классов внутри них $C^{T_i} = \{C_1^{T_i}, C_2^{T_i}, \dots, C_{k_i}^{T_i}\}$, $C^{T_i} \in \{T_i\}$.

2. Для каждого типа и класса устройств составляется классификатор состояний (исправное, работоспособное, предотказное, неисправное защитное, неисправное опасное состояния): $S^{T_i, C^{T_i}} = \{S_1^{T_i, C^{T_i}}, S_2^{T_i, C^{T_i}}, \dots, S_{q_i}^{T_i, C^{T_i}}\}$.

3. Каждому состоянию сопоставляется множество диагностических параметров с допустимыми пределами изменения для точной идентификации нахождения объекта в данном состоянии.

4. Для каждого конкретного объекта автоматики из заданного типа и класса осуществляется настройка граничных значений диагностических параметров,

например, в автоматическом режиме с помощью самонастраиваемых сетей (автокодировщиков) [29].

5. Для каждого конкретного объекта мониторинга автоматически выбирается множество допустимых вопросов согласно действующему режиму эксплуатации и формируются массивы цен вопросов и весов событий. Первоначально это делается исходя из общих статистических данных, широко известных для каждого из устройств. В процессе эксплуатации системы мониторинга для конкретного объекта автоматики происходит корректировка значений цен вопросов и весов событий с учетом накапливаемых исторических данных о нем.

Здесь следует отметить, что каждому состоянию какого-либо объекта диагностирования соответствует конкретное множество диагностических признаков Δ_{S_r} , зафиксированных системой мониторинга — значений диагностических параметров в совокупности, в т. ч. с учетом результатов машинного анализа и предыдущих изменений [30].

Утверждение 1. *Чтобы система технического диагностирования и мониторинга однозначно интерпретировала полученное множество значений диагностических признаков с каким-либо конкретным состоянием объекта диагностирования, это множество не должно быть собственным подмножеством диагностических признаков, соответствующим другому техническому состоянию:*

$$\forall s_a : \Delta_{S_a} \not\subset \Delta_{S_x}, a \in \{1, 2, \dots, m\}, x \in \{1, 2, \dots, m\} \setminus \{a\}. \quad (1)$$

Если условие (1) не выполняется хотя бы для одной пары технических состояний, то в автоматическом режиме система мониторинга не сможет определить то состояние, в котором реально находится объект диагностирования. Это потребует дополнительных ручных измерений. В динамических вопросниках такие события окажутся в одном подмножестве исходов вопроса.

При невозможности разделения каких-либо состояний нужны дополнительные измерения по определенному алгоритму.

Утверждение 2. *Множество состояний $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ разделимо в том случае, если*

$$\forall s_i, i \in \{1, 2, \dots, r\} \exists \pi_j \in \Theta, j \in \{1, 2, \dots, m\}, \quad (2)$$

где π_j — результативная проверка.

Результативная проверка может последовать после автоматического измерения, а может быть следствием ручного тестирования объекта диагностирования сервисным персоналом. В этом случае система мониторинга будет давать эксплуатационному персоналу информационные сообщения, облегчающие идентификацию неисправностей.

Таким образом, сам процесс формализации исходных вопросов реализуется единожды для каждого типа и класса устройств железнодорожной автоматики

экспертным методом. Далее система мониторинга сама формирует допустимые последовательности вопросов для каждого режима эксплуатации с учетом оптимизации вопросника наиболее эффективным методом. Поскольку вопросники, приведенные для типовых устройств напольной автоматизации, как правило, содержат вопросы с малыми значениями оснований, эффективным может оказаться метод корневого вопроса, разработанный проф. А. Ю. Аржененко для бинарных вопросников в [21] и адаптированный авторами данной статьи в [31] для использования применительно к вопросникам с различными основаниями. Задача оптимизации вопросника должна решаться в программном обеспечении системы мониторинга оперативно, поэтому можно также использовать известные приближенные методы оптимизации. Пользователь системы мониторинга не видит всех процедур по оптимизации, а получает только конечный результат поиска – конкретное состояние устройства и неисправного компонента при отказе или рекомендуемую последовательность дополнительных проверок для локализации неисправности.

10. Архитектура системы мониторинга

В настоящее время системы мониторинга в области железнодорожного транспорта строятся по архитектуре, исключаящей удаленный облачный сервер для обработки диагностической информации, а вся обработка заключается лишь в сравнении обособленных измеренных параметров с некоторым предустановленным порогом (нормалью) [4]. Более сложный анализ параметров на железных дорогах используется только «кустарно» и массового внедрения не получил. Однако методы анализа, в т. ч. с использованием искусственного интеллекта, довольно хорошо развиты [32–34].

На рисунке 12 представлена перспективная архитектура системы мониторинга.

В структуре системы мониторинга диагностические данные обо всех диагностических параметрах поступают от измерительных контроллеров с установленным периодом опроса датчиков в хранилище данных (концентратор). Там же хранятся данные учета физических особенностей и условий эксплуатации конкретного объекта. По специальному протоколу к хранилищу обращается облачный сервер обработки больших объемов данных и в режиме реального времени анализирует диагностические данные. В случае фиксации какой-либо неисправности (любого нарушения штатной работы устройств) в программном обеспечении системы мониторинга формируются динамические вопросники, из которых автоматически определяется рекомендуемая последовательность для возникшего инцидента (в т. ч. алгоритм диагностирования). Для вывода данных применяется виртуальное технологическое окно (аналог автоматизированного рабочего места), к которому можно подключиться удаленно с любого мобильного и стационарного устройства, подключенного к Интернету. Систе-

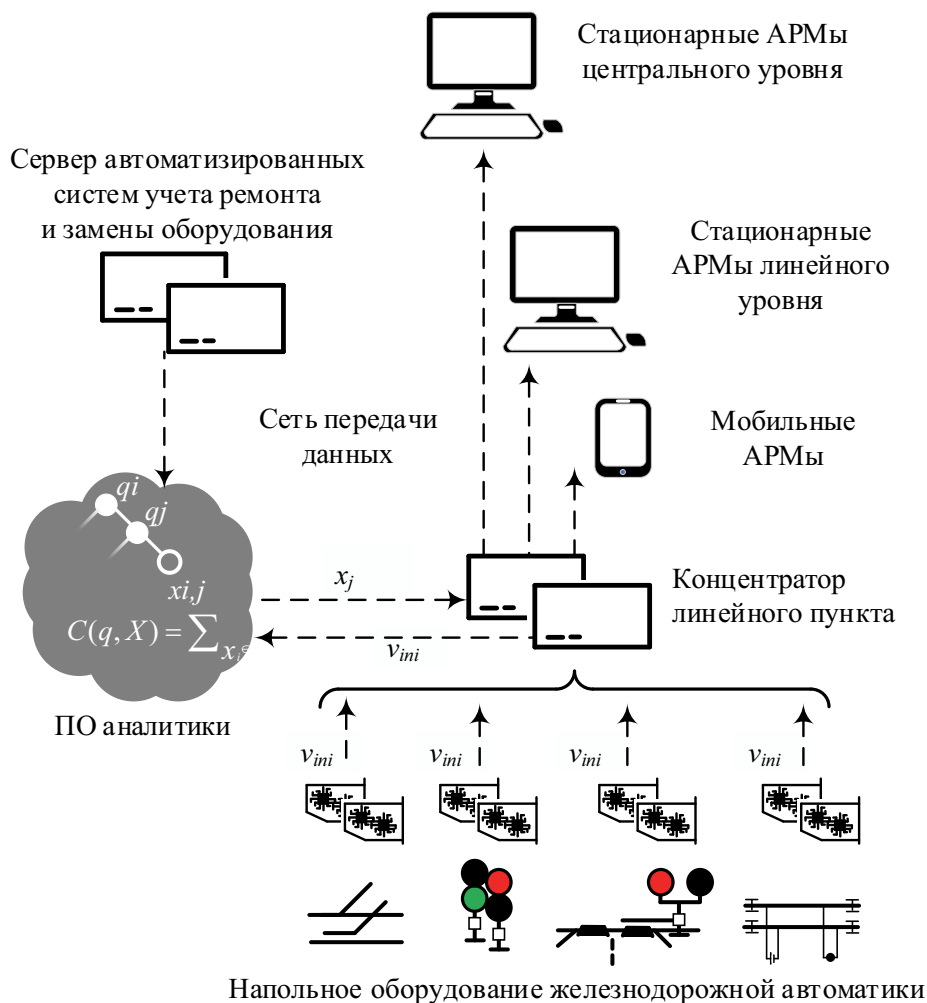


Рис. 12. Архитектура системы мониторинга

ма может дополняться стационарным автоматизированным рабочим местом, а также мобильными приложениями мониторинга. Такая архитектура системы мониторинга не требует наличия концентраторов центральных постов, как в современных системах мониторинга устройств железнодорожной автоматики [4]. Доступ к результатам мониторинга осуществляется удаленно через любой браузер или мобильное приложение вне зависимости от места расположения пользователя.

Заключение

Использование динамических вопросников позволяет подходить к процессу построения алгоритмов диагностирования современных систем со сложными структурами и большим количеством компонентов гораздо точнее. С учетом работы в программных средствах систем мониторинга, имеющих доступ к большим объемам статистических данных об объектах диагностирования

и к собранным диагностическим данным, появляется возможность повышения полноты и глубины технического диагностирования. Кроме того, сам динамический вопросник в программных средствах систем мониторинга формирует рекомендуемую последовательность действий при разборе инцидента. Это основа систем поддержки принятия решений техническим персоналом. Использование программных средств с интегрированными в них динамическими вопросниками для устройств автоматики благодаря облачным технологиям помогает организовать простой доступ к результатам мониторинга через любые браузеры и мобильные приложения. Он осуществляется с применением киберзащищенных протоколов, процедур идентификации и аутентификации пользователей согласно ранжированию пользователей и их индивидуальным настройкам.

Достоинства динамических вопросников состоят в том, что для любого технического объекта можно более точно строить алгоритм диагностирования с учетом как физических параметров и условий эксплуатации, так и накопленных статистических данных о работе и информации от датчиков измерительных контроллеров. Следует отметить и недостатки применения вопросников для построения алгоритмов диагностирования — число диагностических событий и вопросов для их идентификации существенно влияет на скорость оптимизации вопросника. В зависимости от режима эксплуатации объекта диагностирования вопросники могут иметь различные структуры и цены обхода. Поэтому в реальных приложениях необходимо учитывать ограничение по времени построения вопросника, а при необходимости применять методы декомпозиции или построения вопросников, приближенных к оптимальным.

В заключение также отметим, что представленные результаты являются одним из приложений теории вопросников. Использование динамических вопросников возможно и в других отраслях науки и техники.

Библиографический список

1. *Reakes M.* Management of Integrated Training Systems//IEEE Conference on Aerospace and Electronics, Dayton, OH, USA, 21–25 May 1990. – Vol. 2. – Pp. 924–928. – DOI: 10.1109/NAECON.1990.112894.
2. *Stanley P.* ETCS for Engineers. – Germany, Hamburg, EurailPress. – 2011. – 312 p.
3. *Hall C.* Modern Signalling: 5th edition. – UK, Shepperton: Ian Allan Ltd. – 2016. – 144 p.
4. *Ефанов Д. В.* Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. – СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС. – 2016. – 171 с.
5. *Pan D., Zheng Y., Zhang C.* On Intelligent Automatic Train Control of Railway Moving Automatic Block Systems Based on Multi-Agent Systems//Proceedings of the 29th Chinese Control Conference, Beijing, China, 29–31 July 2010. – Pp. 4471–4476.
6. *Кокурин И. М.* Построение интеллектуальной системы управления движением поездов на основе автоматизации диспетчерского регулирования и центрального автоведения//Автоматика на транспорте. – 2018. – Т. 4. – № 3. – С. 305–314.

7. Баранов Л. А. Ограничения на управление в автоматизированных системах планирования и управления движением поездов метрополитена//Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2. – № 3. – С. 319–330.
8. Никульчиков П. М. История, состояние и перспективы развития систем автоматического управления поездами метрополитена//Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2. – № 3. – С. 456–473.
9. Shamanov V. Formation of Interference from Power Circuits to Apparatus of Automation and Remote Control//Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018), Kazan, Russia, 14–17 September 2018. – Pp. 140–146. – DOI: 10.1109/EWDTS.2018.8524676.
10. Sedykh D., Gordon M., Zuyev D., Skorokhodov A. Analysis of the Amplitude and Phase-Manipulated Signals of Automation Devices via Bluetooth Technology//Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018), Kazan, Russia, 14–17 September 2018. – Pp. 703–710. – DOI: 10.1109/EWDTS.2018.8524605.
11. Heidmann L. Smart Point Machines: Paving the Way for Predictive Maintenance//Signal+Dracht. – 2018. – Issue 9. – Pp. 70–75.
12. Efanov D. V., Osadchy G. V., Khóroshev V. V., Shestovitskiy D. A. Diagnostics of Audio-Frequency Track Circuits in Continuous Monitoring Systems for Remote Control Devices: Some Aspects//Proceedings of 17th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2019), Batumi, Georgia, 13–16 September 2019. – pp. 162–170. – DOI: 10.1109/EWDTS.2019.8884416.
13. Flammini F. Railway Safety, Reliability and Security: Technologies and Systems Engineering. – IGI Global. – 2012. – 462 p.
14. Гавзов Д. В., Сапожников В. В., Сапожников Вл. В. Методы обеспечения безопасности дискретных систем//Автоматика и телемеханика. – 1994. – № 8. – С. 3–50.
15. Theeg G., Vlasenko S. Railway Signalling & Interlocking: 3e^d Edition. – Germany, Leverkusen PMC Media House GmbH. – 2020. – 552 p.
16. Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Ефанов Д. В., Шаманов В. И. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: учеб. пособие//Под ред. Вл. В. Сапожникова. – М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». – 2017. – 318 с.
17. Пархоменко П. П. Теория вопросников (обзор)//Автоматика и телемеханика. – 1970. – № 4. – С. 140–159.
18. Picard C. F. Graphs and Questionnaires. – Netherlands: North-Holland Publishing Company. – 1980. – 431 p.
19. Пархоменко П. П., Согомонян Е. С. Основы технической диагностики (оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратурные средства). – М.: Энергоатомиздат. – 1981. – 320 с.
20. Efanov D. V., Khoroshev V. V., Osadchy G. V., Belyi A. A. Optimization of Conditional Diagnostics Algorithms for Railway Electric Switch Mechanism Using the Theory of Questionnaires with Failure Statistics//Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018), Kazan, Russia, 14–17 September 2018. – Pp. 237–245. – DOI: 10.1109/EWDTS.2018.8524620.
21. Аржененко А. Ю., Чугаев Б. Н. Оптимальные бинарные вопросники. – М.: Энергоатомиздат. – 1989. – 128 с.
22. Сапожников Вл. В., Ефанов Д. В., Павлов А. Н. Теория вопросников и поиск неисправностей в УКСПС//Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 1. – С. 30–33.
23. Efanov D. V., Khóroshev V. V. Ternary Questionnaires//Proceedings of 17th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2019), Batumi, Georgia. 13–16 September 2019. – Pp. 289–300. DOI: 10.1109/EWDTS.2019.8884404.

24. Ефанов Д. В., Хорошев В. В. Тернарные вопросники с ошибками и неопределенными ответами//Известия вузов. Приборостроение. – 2019. – Т. 62. – № 10. – С. 875–885. – DOI: 10.17586/0021–3454–2019–62–10–875–885.
25. Ефанов Д. В., Мячин В. Н., Осадчий Г. В., Зуева М. В. Выбор способа фильтрации диагностических данных в системах непрерывного мониторинга объектов транспортной инфраструктуры//Транспорт Российской Федерации. – 2020. – № 2. – С. 35–40.
26. Ефанов Д. В., Осадчий Г. В. «Зеленые» технологии на железнодорожном транспорте//Автоматика, связь, информатика. – 2019. – № 12. – С. 13–16. – DOI: 10.34649/AT.2019.12.12.003.
27. Baratov D. K., Aripov N. M., Ruziev D. Kh. Formalized Methods of Analysis and Synthesis of Electronic Document Management of Technical Documentation Proceedings of 17th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2019), Batumi, Georgia. 13–16 September 2019. – Pp. 531–539. – DOI: 10.1109/EWDTS.2019.8884415.
28. Sedukh D., Gordon M., Efanov D. Computer-Aided Design of Railway Signalling Systems in Russian Federation//Proceedings of 4th International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Moscow, Russia. 15–18 May 2018. – Pp. 1–7. – DOI: 10.1109/ICIEAM.2018.8728662.
29. Liou C.-Y., Cheng C.-W., Liou J.-W., Liou D.-R. Autoencoder for Words//Neurocomputing. – 2014. – Vol. 139. – Pp. 84–96. – DOI:10.1016/j.neucom.2013.09.055.
30. Ефанов Д. В., Хорошев В. В. Принципы совершенствования информационного обеспечения систем технического диагностирования и непрерывного мониторинга//Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2019. – Т. 13. – № 5. – С. 41–48. – DOI: 10.24411/2072-8735-2018-10270.
31. Ефанов Д. В., Хорошев В. В. Метод упорядочения процедур разбиения состояний процедурами с двумя и тремя исходами с учетом их стоимости и весов состояний//Труды СПИИРАН. – 2020. – Т. 19. – № 1. – С. 218–243. – DOI: 10.15622/sp.2020.19.1.8.
32. Jin W., Shi Z., Siegel D., Dersin P., Douziech C., Pugnaroni M., La Cascia P., Lee J. Development and Evaluation of Health Monitoring Techniques for Railway Point Machines//2015 IEEE Conference on Prognostics and Health Management (PHM). Austin, TX, USA, 22–25 June 2015. – DOI: 10.1109/ICPHM.2015.7245016.
33. Böhm T. Remaining Useful Life Prediction for Railway Switch Engines Using Artificial Neural Networks and Support Vector Machines//International Journal of Prognostics and Health Management 8 (Special Issue on Railways & Mass Transportation). – December 2017. – 15 p.
34. Asada T. Novel Condition Monitoring Techniques Applied to Improve the Dependability of Railway Point Machines//University of Birmingham, UK, Ph. D. thesis. – May 2013. – 149 p.

Dmitry V. Efanov, D.Sc.

LLC STC "Integrated Monitoring Systems", St. Petersburg
Graduate School of Transport
Institute of Mechanical Engineering, Materials and Transport
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg
Department "Automation, Remote Control and Communication on Railway Transport"
Russian University of Transport, Moscow

V.V. Khoroshev

Department "Automation, Remote Control and Communication on Railway Transport",
Russian University of Transport, Moscow

DYNAMIC QUESTIONNAIRES FOR ORGANIZATION OF DECISION SUPPORT SYSTEMS INTEGRATED INTO SOFTWARE DIAGNOSIS AND MONITORING RAILWAY AUTOMATION DEVICES

The features of decision support systems in relation to the field of railway transport are considered. The most vulnerable links of the technological process of transportation are highlighted and the ways of improving the upper level of analysis, organization and management of traffic, taking into account the restrictions on the time of decision-making in conflict and emergency situations, are discussed.

It is proposed to use the methods of the theory of questionnaires in the development and improvement of software for decision support systems, integrated into the software of existing and developed systems of technical diagnostics and monitoring. Detailed examples are given in the field of railway automation and remote control. The necessity of constructing questionnaires with dynamic parameters of event weights, prices and basis of questions and the number of questions is noted.

Dynamic questionnaires are the mathematical basis of diagnostic algorithms and are described at the software level of decision support systems and use historical and statistical parameters for automatic optimization, as well as data obtained promptly in real time. The use of questionnaire theory methods is a reasonable step in improving the software of decision support systems.

Automation of the processing of diagnostic information makes it possible to move from data accumulation systems (which are actually modern monitoring systems in the field of transport and, directly, railway automation) to technical diagnostics and monitoring systems that help to carry out diagnostics and forecasting procedures. This, in turn, becomes the basis for establishing the residual life of the diagnostic objects.

Decision support systems; railway transport; traffic control; technical diagnostics and monitoring of control devices; questionnaire theory; optimization; time constraints

DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-1-101-136

References

1. Reakes M. Management of Integrated Training Systems. *IEEE Conference on Aerospace and Electronics*, Dayton, OH, USA, 21–25 May 1990, vol. 2, pp. 924–928.
2. Stanley P. (2011) *ETCS for Engineers*. Germany, Hamburg, EurailPress Publ., 312 p.
3. Hall C. (2016) *Modern Signalling: 5th edition*. UK, Shepperton, Ian Allan Ltd Publ., 144 p.
4. Efanov D. V. (2016) *Funktsional'nyy kontrol' i monitoring ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki* [Functional control and monitoring of railway automation and telemechanics devices]. Saint Petersburg, St. Petersburg State Transport University Publ., 171 p. (In Russian)
5. Pan D., Zheng Y., Zhang C. On Intelligent Automatic Train Control of Railway Moving Automatic Block Systems Based on Multi-Agent System. *Proceedings of the 29th Chinese Control Conference*, Beijing, China, 29–31 July 2010, pp. 4471–4476.
6. Kokurin I. M. (2018) Postroyeniye intellektual'noy sistemy upravleniya dvizheniyem poyezdov na osnove avtomatizatsii dispetcherskogo regulirovaniya i tsentral'nogo avtovedeniya [Construction of an intelligent train control system based on the automation of dispatch control and central automatic train operation]. *Avtomatika na transporte* [Automation on Transport], vol. 4, no. 3, pp. 305–314. (In Russian)
7. Baranov L. A. (2016) Ogranicheniya na upravleniye v avtomatizirovannykh sistemakh planirovaniya i upravleniya dvizheniyem poyezdov metropolitena [Restrictions on control in automated

- systems for planning and controlling the movement of subway trains]. *Avtomatika na transporte [Transport automation]*, vol. 2, no 3, pp. 319–330. (In Russian)
8. Nikulchikov P. M. (2016) Istoriya, sostoyaniye i perspektivy razvitiya sistem avtomaticheskogo upravleniya poyezdami metropolitena [History, state and development prospects of automatic control systems for subway trains]. *Avtomatika na transporte [Automation on Transport]*, vol. 2, no. 3, pp. 456–473. (In Russian)
 9. Shamanov V. Formation of Interference from Power Circuits to Apparatus of Automation and Remote Control. *Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018)*, Kazan, Russia, 14–17 September 2018, pp. 140–146.
 10. Sedykh D., Gordon M., Zuyev D., Skorokhodov A. Analysis of the Amplitude and Phase-Manipulated Signals of Automation Devices via Bluetooth Technology. *Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018)*, Kazan, Russia, 14–17 September 2018, pp. 703–710.
 11. Heidmann L. (2018) *Smart Point Machines: Paving the Way for Predictive Maintenance Signal+Draht*, iss. 9, pp. 70–75.
 12. Efanov D. V., Osadchy G. V., Khóroshev V. V., Shestovitskiy D. A. Diagnostics of Audio-Frequency Track Circuits in Continuous Monitoring Systems for Remote Control Devices: Some Aspects. *Proceedings of 17th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2019)*, Batumi, Georgia, 13–16 September 2019, pp. 162–170.
 13. Flammini F. (2012) *Railway Safety, Reliability and Security: Technologies and Systems Engineering*. IGI Global Publ., 462 p.
 14. Gavzov D. V., Sapozhnikov V. V., Sapozhnikov V. I. (1994) Metody obespecheniya bezopasnosti diskretnykh sistem [Security Methods for Discrete Systems]. *Avtomatika i telemekhanika [Automation and telemekhanics]*, no. 8, pp. 3–50. (In Russian)
 15. Theeg G., Vlasenko S. (2020) *Railway Signalling & Interlocking*: 3rd edition. Germany, Leverkusen PMC Media House GmbH Publ., 552 p.
 16. Sapozhnikov V. V., Sapozhnikov V. I., Efanov D. V., Shamanov V. I. (2017) *Nadezhnost' sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki, telemekhaniki i svyazi: uchebnoye posobiye [Reliability of systems of railway automation, telemekhanics and communication: learning guide]*. Edited by Sapozhnikov V. I. Moscow, Federal Government Budgetary Institution for further vocational education. Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte [Training and methodological center for education in railway transport] Publ., 318 p. (In Russian)
 17. Parkhomenko P. P. (1970) Teoriya voprosnikov: obzor [Questionnaire theory: review] *Avtomatika i telemekhanika [Automation and telemekhanics]*, no. 4, pp. 140–159. (In Russian)
 18. Picard C. F. (1980) *Graphs and Questionnaires*. Netherlands, North-Holland Publishing Company Publ., 431 p.
 19. Parkhomenko P. P., Soghomonyan E. S. (1981) *Osnovy tekhnicheskoy diagnostiki (optimizatsiya algoritmov diagnostirovaniya, apparaturnyye sredstva) [Fundamentals of technical diagnostics (optimization of diagnostic algorithms, hardware)]*. Moscow, Energoatomizdat Publ., 320 p. (In Russian)
 20. Efanov D. V., Khoroshev V. V., Osadchy G. V., Belyi A. A. *Optimization of Conditional Diagnostics Algorithms for Railway Electric Switch Mechanism Using the Theory of Questionnaires with Failure Statistics* Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018), Kazan, Russia, 14–17 September 2018, pp. 237–245.
 21. Arzhenenko A. Yu., Chugaev B. N. (1989) *Optimal'nyye binarnyye voprosniki [Optimal binary questionnaires]*, Moscow, Energoatomizdat Publ., 128 p. (In Russian)

22. Sapozhnikov V.I., Efanov D. V., Pavlov A. N. (2012) Teoriya voprosnikov i poisk neispravnostey v ustroystvakh dlya kontrolya skhoda podvizhnogo sostava [Questionnaire theory and troubleshooting in rolling stock derailment control devices]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communication, informatics], no. 1, pp. 30–33. (In Russian)
23. Efanov D. V., Khoroshev V. V. Ternary Questionnaires. *Proceedings of 17th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2019)*, Batumi, Georgia. 13–16 September 2019, pp. 289–300.
24. Efanov D. V., Khoroshev V. V. (2019) Ternarnyye voprosniki s oshibkami i neopredelennymi otvetami [Ternary questionnaires with errors and undefined answers]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie*. [Journal of Instrument Engineering], vol. 62, no. 10, pp. 875–885. (In Russian)
25. Efanov D. V., Myachin V. N., Osadchiy G. V., Zueva M. V. (2020) Vybór sposoba fil'tratsii diagnosticheskikh dannykh v sistemakh nepreryvnogo monitoringa ob'yektov transportnoy infrastruktury [Method choosing a method for filtering diagnostic data in continuous monitoring systems of transport infrastructure objects]. *Transport Rossiyskoy Federatsii* [Transport of the Russian Federation], no. 2, pp. 35–40.
26. Efanov D. V., Osadchiy G. V. (2019) «Zelenyye» tekhnologii na zheleznodorozhnom transporte [Green technologies in railway transport]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communication, informatics], no.12, pp. 13–16.
27. Baratov D. K., Aripov N. M., Ruziev D. Kh. Formalized Methods of Analysis and Synthesis of Electronic Document Management of Technical Documentation. *Proceedings of 17th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2019)*, Batumi, Georgia. 13–16 September 2019, pp. 531–539.
28. Sedykh D., Gordon M., Efanov D. Computer-Aided Design of Railway Signalling Systems in Russian Federation. *Proceedings of 4th International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, Moscow, Russia. 15–18 May 2018, pp. 1–7.
29. Liou C.-Y., Cheng C.-W., Liou J.-W., Liou D.-R. Autoencoder for Words. *Neurocomputing*, 2014, vol. 139, pp. 84–96.
30. Efanov D. V., Khoroshev V. V. (2019) Printsipy sovershenstvovaniya informatsionnogo obespecheniya sistem tekhnicheskogo diagnostirovaniya i nepreryvnogo monitoringa [Principles of improving information support for technical diagnostics and continuous monitoring systems]. *T-Comm: Telekommunikatsii i transport* [T-Comm: Telecommunications and transport], vol. 13, no. 5, pp. 41–48.
31. Efanov D. V., Khoroshev V. V. (2020) Metod uporyadocheniya protsedur razbiyeniya sostoyaniy protsedurami s dvumya i tremya iskhodami s uchetom ikh stoimosti i vesov sostoyaniy [Method of ordering procedures for splitting states by procedures with two and three outcomes, taking into account their cost and state weights]. *Trudy SPIIRAN* [Works of St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences], vol. 19, no. 1, pp. 218–243.
32. Jin W., Shi Z., Siegel D., Dersin P., Douziech C., Pugnaroni M., La Cascia P., Lee J. (2015) Development and Evaluation of Health Monitoring Techniques for Railway Point Machines. *2015 IEEE Conference on Prognostics and Health Management (PHM)*. Austin, TX, USA, 22–25 June.
33. Böhm T. (2017) Remaining Useful Life Prediction for Railway Switch Engines Using Artificial Neural Networks and Support Vector Machines. *International Journal of Prognostics and Health Management 8 (Special Issue on Railways & Mass Transportation)*, December, 15 p.

34. Asada T. (2013) *Novel Condition Monitoring Techniques Applied to Improve the Dependability of Railway Point Machines*. University of Birmingham, UK, Ph. D. thesis. May, 149 p.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Вл. В. Сапожниковым
Поступила в редакцию 13.07.2020, принята к публикации 10.08.2020*

ЕФАНОВ Дмитрий Викторович — д-р техн. наук, доцент, заместитель генерального директора по научно-исследовательской работе ООО НТЦ «Комплексные системы мониторинга», профессор Высшей школы транспорта Института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ Петра Великого), профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Российского университета транспорта (МИИТ)
e-mail: TrES-4b@yandex.ru

ХОРОШЕВ Валерий Вячеславович — ассистент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Российского университета транспорта (МИИТ)
e-mail: hvv91@icloud.com

© Ефанов Д. В., Хорошев В. В., 2021