

УДК 004.052.42+681.518.5

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОИСКА ОТКАЗОВ В СТРЕЛОЧНЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ДАТЧИКАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СРЕДСТВ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА

ХОРОШЕВ Валерий Вячеславович, канд. техн. наук, старший преподаватель; e-mail: hvv91@icloud.com

Российский университет транспорта (МИИТ), кафедра «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте», Москва

Статья посвящена проблеме автоматического диагностирования горочных устройств автоматики, таких как радиотехнические стрелочные датчики. Актуальность проблемы заключается в том, что рассматриваемый в статье вид датчиков выполняет важную функцию контроля занятости стрелочного перевода, но диагностирование данных датчиков выполняется вручную и занимает определенное время. Это время непосредственно влияет на время восстановления объекта при случившемся отказе, и чем больше это время, тем ниже пропускная способность сортировочной станции. Автором статьи предлагается интегрировать в программное обеспечение горочного диагностического комплекса алгоритмы диагностирования для автоматизации процедуры диагностирования исследуемых устройств. В статье рассматриваются: конструкция объекта исследования, возможные отказы и предостережения, особенности проведения технического обслуживания объекта. Автором производится синтез алгоритма ручного диагностирования объекта и оценка его трудозатрат. Для примера в статье предлагается решать прикладные задачи диагностирования объектов с использованием теории вопросников и оптимизировать алгоритмы диагностирования в реальном времени с применением метода корневого вопроса. Кроме того, автором рассматривается и предлагается модернизированный подход ко всему циклу обслуживания стрелочных радиотехнических датчиков, который позволит высвободить часы трудозатрат персонала на обслуживание исследуемых датчиков для производства других, не менее важных работ.

Ключевые слова: алгоритм диагностирования; теория вопросников; оптимизация; синтез алгоритмов диагностирования; система поддержки принятия решения; автоматизация; технический объект; железнодорожный радиотехнический датчик; устройства автоматического контроля.

DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-03-307-323

▼ Введение

Отказы технических средств сортировочных горок оказывают прямое влияние на пропускную способность и безопасность функционирования всей сортировочной станции. Возникновение неисправностей в устройствах горочной автоматики способно привести как к задержкам при расформировании поездов через горб горки, что, в свою очередь, приводит к накоплению поездов в парке приема, так и к возможным чрезвычайным ситуациям.

Самыми уязвимыми местами на сортировочной горке являются стрелочные переводы. В отличие от стрелочных переводов магистральных железных дорог, горочные оборудованы приводными механизмами с повышенной

скоростью работы. Кроме того, количество переводов за сутки они имеют в разы выше. На сортировочных горках в эксплуатации находятся стрелочные переводы с марками крестовин 1/6 или 1/9 [1, 2]. Рельсовая цепь стрелочного участка имеет малую длину, что требует применения схемных решений рельсовых цепей нормально разомкнутого типа. Такие рельсовые цепи не обеспечивают контроля целостности рельсов. Роспуск происходит в круглосуточном режиме, детали стрелочного перевода постоянно испытывают деструктивные воздействия как от проходящих по ним отцепам (вагон или группа сцепленных между собой вагонов одного назначения, отделяемая от состава в процессе его расформирования),

так и от погодных условий. Из-за высокой интенсивности износа составных частей стрелочного перевода чаще производят технологические работы по поддержанию технического состояния устройств, и, как следствие, возрастает воздействие человеческого фактора на эксплуатируемые устройства. Отцепы проходят по горочным стрелочным переводам без каких-либо тяговых единиц и только под воздействием силы тяжести, по этой причине наносимый ущерб в случае схода отцепа на стрелке велик. Все эти и многие другие риски вынуждают вводить в эксплуатацию дополнительные технические средства контроля занятости стрелочного перевода. Такими устройствами являются: стрелочный радиотехнический датчик (РТД-С), индуктивно-проводной датчик, электронные датчики счета осей. Все названные устройства служат для фиксации наличия или факта прохода отцепа по стрелочному переводу и по рельсовым участкам за и перед ним. Весь комплекс технических средств стрелочного перевода эксплуатируется в суровых условиях, с воздействием нагрузок со стороны отцепов, погодных условий и с повышенным влиянием человеческого фактора.

В связи с вышеописанным появляется задача обеспечения непрерывного контроля функционирования устройств всего стрелочного комплекса. Для этих целей создаются и развиваются системы технического диагностирования и мониторинга (СТДМ) устройств горочной автоматики [3–9]. Такие системы являются драйверами для перехода к обслуживанию устройств горочной автоматики по состоянию, что сократит влияние человеческого фактора на работу устройств, а также позволит прогнозировать развитие предотказа, что позволит спланировать работы по техническому обслуживанию и ремонту устройств до того, как случится отказ. Но на данном этапе развития таких систем по-прежнему имеются слабые стороны, такие как: неспособность фиксировать конкретный отказ и его локализовать, отсутствие функций автоматического анализа измеренных данных, отсутствие встроенных алгоритмов диагностирования.

Данная статья посвящена развитию систем технического диагностирования и мониторинга

на примере стрелочных радиотехнических датчиков. Цель данной работы — показать эффективность применения алгоритмов диагностирования устройств автоматики для автоматизации поиска места возникшей неисправности в сравнении с ручным поиском. Для достижения данной цели необходимо произвести анализ объекта диагностирования, его отказов и особенностей обслуживания. Далее необходимо произвести анализ алгоритмов диагностирования синтезированных с применением математического аппарата и произвести сравнение ручного и автоматического метода, что и сделано автором данной статьи.

1. Особенности обслуживания устройств горочной автоматизации

На полигонах российских железных дорог на данном этапе развития устройств технического диагностирования и мониторинга способны в автоматическом режиме производить измерение только лишь некоторого подмножества $M^* = \{\mu_r | r = \overline{1, c}\}$ параметров объекта диагностирования из всего множества его параметров $M = \{\mu_e | e = \overline{1, u}\}$, при этом $M^* \subset M$. В находящихся в эксплуатации системах мониторинга заложены некоторые события, о которых система сообщает технологу, но эти события содержат уже «следствия» отказа и не указывают на конкретный отказавший узел. Такими событиями, к примеру, являются: выход измеряемого параметра за пределы установленных в технической документации значений (например, понижение или завышение напряжения питания или рабочих токов, времени перевода и т. д.), сообщения о потере соединения в локальной сети с объектными контроллерами или невозможности выполнить то или иное действие (например, после отправки команды на перевод стрелки команда не выполняется). Доступны графики изменения величин ответственных параметров. Полностью отсутствует система поддержки принятия решения (СППР) [3–9].

В случае возникновения отказа в устройствах горочной автоматики обслуживающий персонал производит анализ изменения графиков ответственных параметров отказавшего устройства и оценивает работу комплекса

устройств по архивным записям автоматизированного рабочего места электромеханика (АРМ ШН) на предмет влияния соседних устройств. После анализа электромеханик с инструментом и измерительными приборами приходит на место отказа и вручную производит измерения тех параметров устройств, которые не измеряются в системах мониторинга автоматически, затем производит восстановительные работы. Все вышеописанные процедуры занимают определенное время и в совокупности составляют время до восстановления объекта ($t_{дв}$) при этом $t_{дв} = t_{л} + t_{м} + t_{в}$, где $t_{л}$ — время локализации отказа, $t_{м}$ — время, затраченное на сбор инструмента и маршрут до отказавшего объекта, $t_{в}$ — время восстановления объекта. Стоит заметить, что $t_{л}$ и $t_{м}$ являются субъективными показателями, которые зависят от опыта и сноровки обслуживающего персонала, а $t_{в}$ всегда одно и то же для каждого вида возникшего отказа (рассматривается пример, когда в поиске отказа занят один человек).

2. Решение прикладных задач диагностирования устройств железнодорожной автоматики на примере радиотехнических стрелочных датчиков

Для решения задачи повышения качества функционирования систем технического диагностирования и мониторинга горючих устройств автоматики необходимо внедрение алгоритмов, позволяющих учитывать исторические данные об объекте, изменение его ответственных параметров и затрачиваемое на процедуры поиска неисправности время. Одним из подходящих математических аппаратов является теория вопросников, предложенная французским математиком К. Ф. Пикаром. Математический аппарат позволяет решать задачи поиска, при этом учитывая вероятность нахождения конкретного отказа в объекте из множества заведомо известных отказов и время, затрачиваемое на реализацию процедуры диагностирования. Кроме того, в техническом диагностировании на практике необходимо построение условных алгоритмов диагностирования с условной остановкой, что позволяет сделать предложенный аппарат.

Подробно теория вопросников изложена в [10–12], в данной же статье будем говорить о вопроснике как об алгоритме проведения процедуры поиска отказа в устройстве, такой алгоритм есть не что иное, как совокупность конечного множества отказов $\Phi = \{\varphi_i | i = \overline{1, m}\}$ в объекте диагностирования и конечного множества проверок $\Pi = \{\pi_j | j = \overline{1, n}\}$, которые позволяют разделить множество X на непересекающиеся подмножества. Постановка проверок возможна как на всем множестве X , так и на его подмножествах. Тем самым реализуется процедура поиска отказа. Проверка дает два и более ответа, таким образом, можно говорить об основании проверки $a(\pi_j)$. Если при решении задачи идентификации возможно разбить множество отказов на одноэлементные подмножества, то решается задача полной идентификации, иначе неполной идентификации. На практике с учетом развития современных железнодорожных систем мониторинга задача полной идентификации является недостижимой. Причиной тому является ограниченное число автоматически измеряемых ответственных параметров объекта (M^*) из всего множества возможных ответственных параметров (M), из-за чего автоматически различить все возможные состояния объекта $S = \{s_b | b = \overline{1, w}\}$ не представляется возможным. Соответственно, с учетом M^* возможно определить некоторое подмножество состояний $S^* = \{s_o^* | o = \overline{1, d}\}$, $S^* \subset S$. Необходимо сказать, что множество состояний объекта S состоит из штатного (рабочего состояния) и множества нештатных ситуаций $E = P \cup \Phi$, где $P = \{p_l | l = \overline{1, z}\}$ — это множество предотказных состояний. Так как возможно определить лишь S^* и M^* автоматически, то для дальнейшего разбиения полученных подмножеств необходимо воспользоваться ручными проверками, для чего и необходима СППР. В данной работе речь пойдет о синтезе алгоритмов диагностирования с использованием математического аппарата теории вопросников для реализации автоматического поиска известного множества отказов Φ с помощью множества проверок Π .

Имеется устройство дополнительного контроля занятости стрелочного участка на сортировочной горке — радиотехнический стрелочный датчик

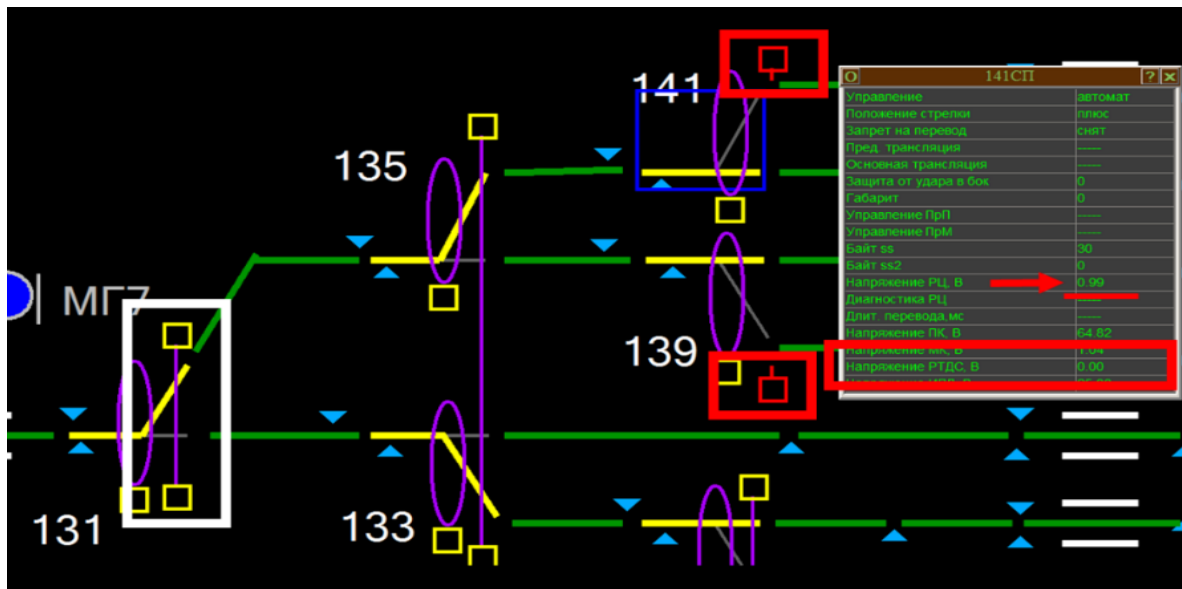


Рис. 1. Схема индикации в АРМ

(РТД-С). Как показывают исследования [13–15], данное устройство сложное и ненадежное, предназначено для исключения ложной свободности рельсовой цепи стрелочного участка при проследовании длиннобазных вагонов. Как и все устройства автоматики, радиотехнические датчики подвержены воздействию внешних деструктивных факторов, таких как погодные условия, вибрация, загрязнения и агрессивные среды. Датчики работают в постоянном режиме и контролируют наличие подвижной единицы на стрелочном участке. При отказе данной аппаратуры возможны две ситуации, первая — ложная занятость, вторая — ложная свободность. При возникновении ложной занятости горочная система централизации не позволит распускать отцепы в сторону занятого стрелочного участка и изменит маршрут прохождения отцепа, что впоследствии требует использования маневровых работ для «вылова беглеца» (отцеп, который по тем или иным причинам попал на любой другой путь, но не на путь назначения). Маневровые работы тормозят процедуру переработки поездов на сортировочной станции. Если в результате отказа в радиотехническом датчике, на автоматизированном рабочем месте дежурного по горке (АРМ ДСП) отображается ложная свободность, то возникает вероятность нарушения безопасности проследования отцепов, а при проследовании длиннобазного вагона возможен и

перевод стрелки в автоматическом режиме под вагоном. Несмотря на то, что устройство предназначено для повышения безопасности прохождения отцепов по стрелочным участкам, оно же способно замедлять работу сортировочной станции из-за возникновения в нем отказа.

При возникновении отказа обслуживающий персонал производит анализ по АРМ ШН параметров РТД-С и изучает архив. Пример индикации ложной занятости представлен на рис. 1. Поняв причину отказа, производят замену того или иного отказавшего блока. Для расследования случившегося отказа в аппаратуре радиотехнического стрелочного датчика электромеханик в среднем тратит от 20 минут в зависимости от сложности неисправности, дальности нахождения аппаратуры и его опыта. В добавок высока вероятность выхода из строя блока приемника, взятого из аварийного запаса, при первом пуске из-за выгорания счетчика (DD3, представлен на схеме на рис. 4).

Этот недостаток конструкции был выявлен в ходе многолетней эксплуатации устройств РТД-С на станции Санкт-Петербург — Сортировочный — Московский. Отказов в данном типе аппаратуры много, и целью данной статьи является построение оптимального алгоритма диагностирования и автоматизации всей процедуры диагностирования. Для достижения поставленной цели рассмотрим детальнее конструкцию устройства и множество отказов в нем.

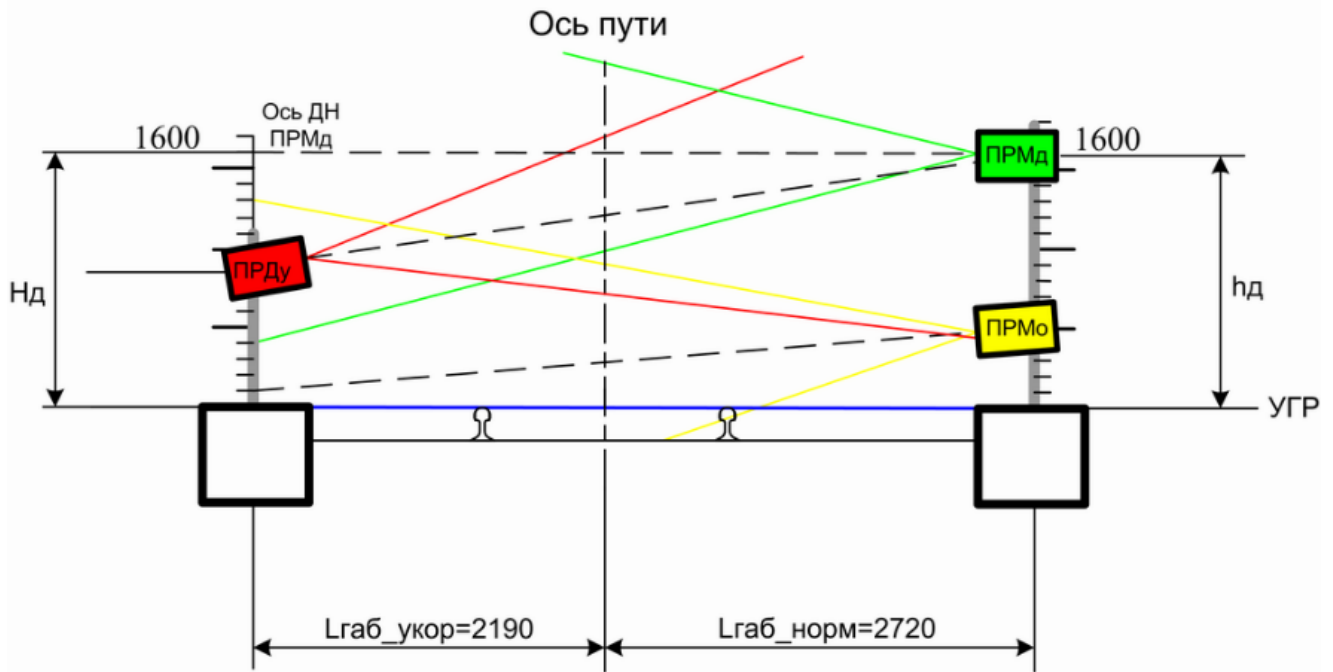


Рис. 2. Схема установки радиотехнического стрелочного датчика на стрелочной секции

3. Радиотехнический стрелочный датчик, конструкция и множество отказов

В комплект аппаратуры РТД-С входят: блок излучатель (ПРД), он же передатчик, два блока приемника (ПРМ) — основной и дополнительный. Устанавливаются на специальные стойки с соблюдением габарита по обе стороны стрелочной секции. С одной стороны, устанавливается блок излучателя, с другой — приемники. Излучатель в режиме постоянного излучения отправляет сигнал на приемники, которые, принимая сигнал, формируют выходное напряжение для включения реле на посту централизации. При прохождении отцепки сигнал до приемников не доходит и реле выключается, что соответствует занятому состоянию стрелочного перевода. Схема размещения оборудования представлена на рис. 2.

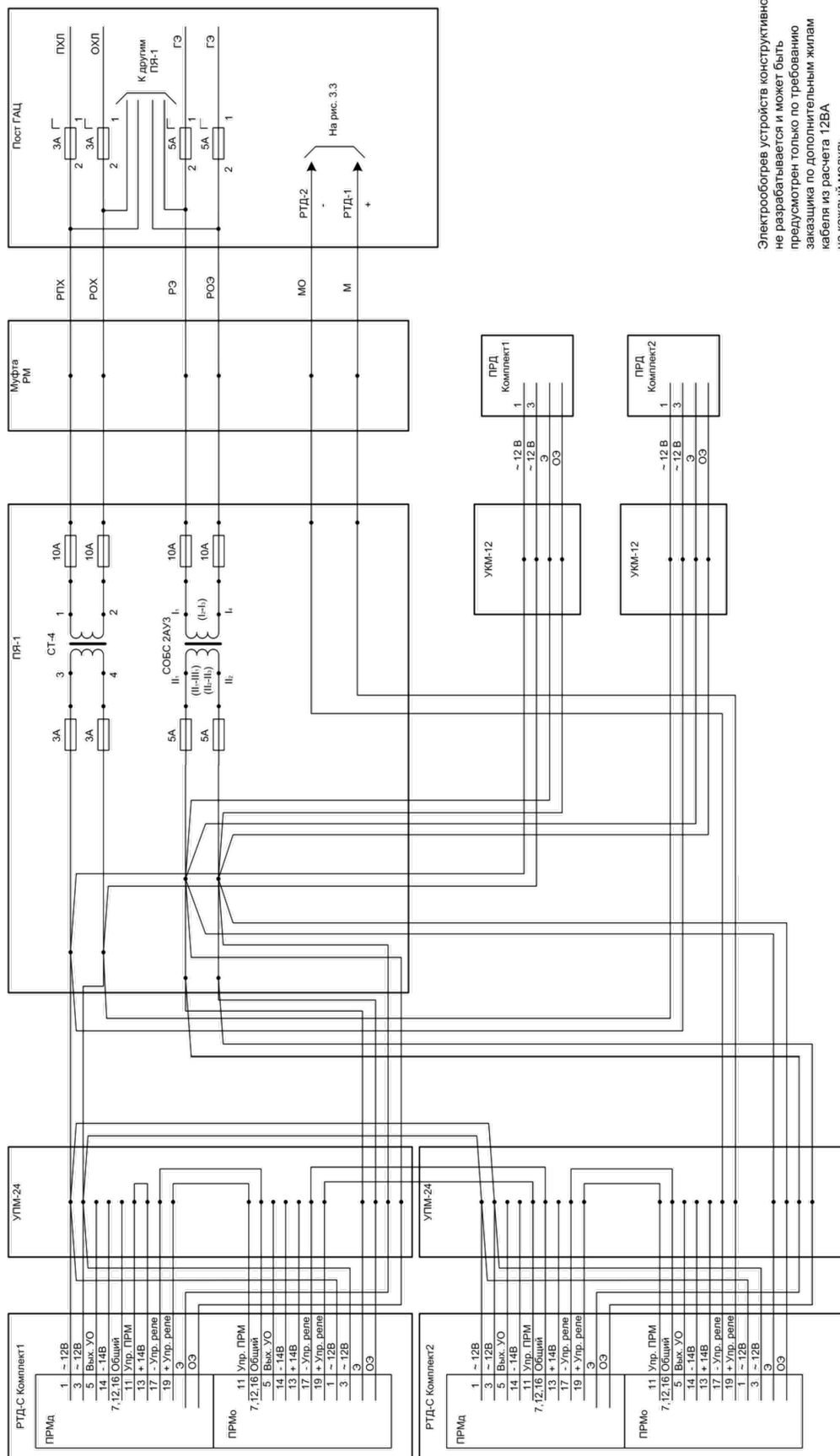
Кроме того, на рис. 3 представлена электрическая схема подключения аппаратуры, в которой можно наблюдать множество мест монтажа жил кабеля и болтовых соединений, что вносит дополнительные риски возникновения окисления и разрушения жил (потенциальные места отказов). А на рис. 4 представлен пример электрической схемы для блока приемника.

Для дальнейшей работы представим блочную модель функционирования устройств,

комплект оборудования стандартный, одиночный (рис. 5).

Имея всю необходимую информацию об оборудовании, представим перечень отказов, которые могут возникать в исследуемом оборудовании. Сведем все отказы в табл. 1 и обозначим их как $\pi_j \in \Pi$. Анализ проводится для РТД-С-05.

Так как аппаратура блочная (ПРД и ПРМ), то электромеханик, занятый обслуживанием, не производит ремонт или диагностику блоков самостоятельно, вместо него аппаратура отправляется в отдел «Контрольно-измерительные приборы» (КИП), и там работники КИПа производят диагностику, настройку и юстировку. Поскольку дистанция сигнализации, централизации и блокировки ведет журнал отказов напольного оборудования типа «отказ блока ПРМ» или «отказ блока ПРД» без учета внутренних особенностей, а КИП не ведет отчет неисправностей в самих блоках, то и статистических данных для расчета вероятности возникновения той или иной информации нет. По этой причине будем считать все отказы равновероятными. В дальнейшем при адаптации в программном обеспечении СТДМ вся статистическая информация будет накапливаться и на ее основании перестраиваться



Электрообогрев устройств конструктивно не разрабатывается и может быть предусмотрен только по требованию заказчика по дополнительным жилам кабеля из расчета 12ВА на каждый модуль

Рис. 3. Электрическая схема подключения радиотехнических стрелочных датчиков

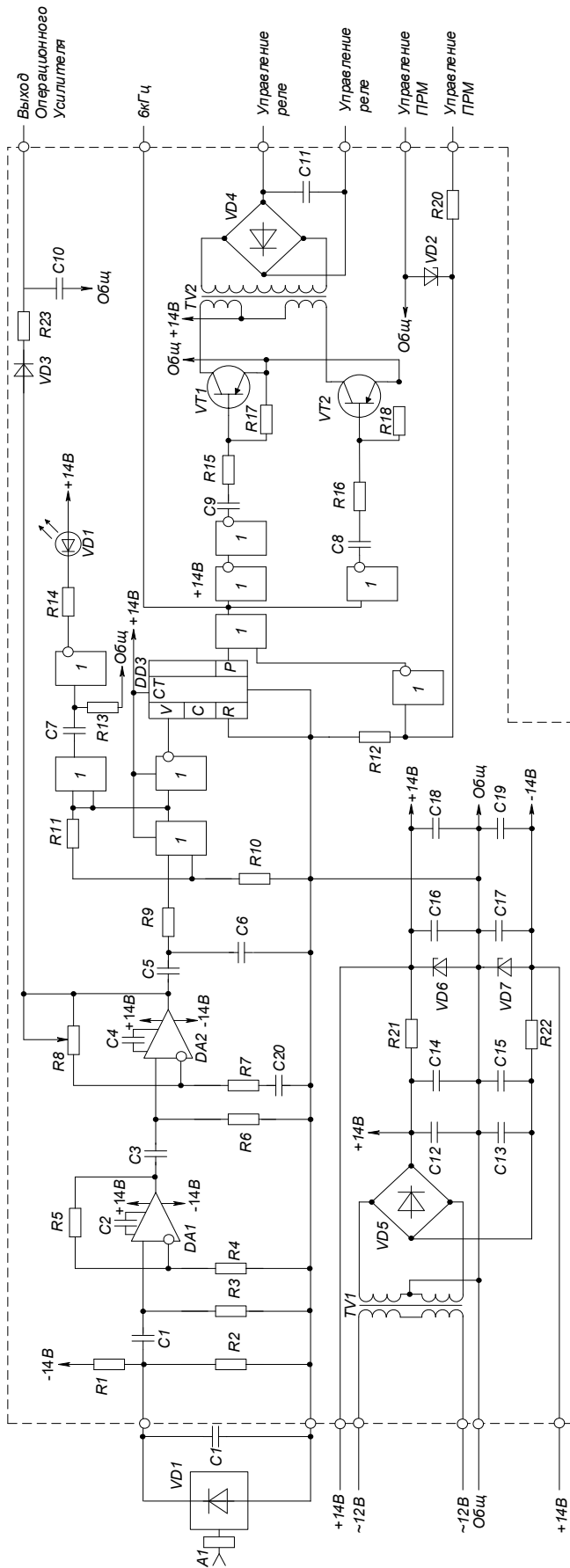


Рис. 4. Электронная схема приемника

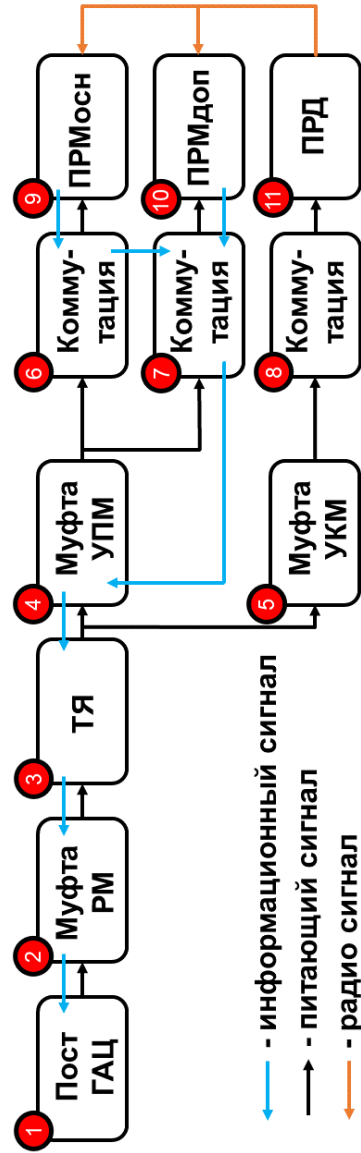


Рис. 5. Блочная схема подключения комплекта:

1 — постовое оборудование; 2 — разветвительная муфта; 3 — трансформаторный ящик; 4, 5 — универсальная кабельная муфта (УКМ, УПМ); 6-8 — шлейфы коммутации; 9 — приемник основной; 10 — приемник дополнительный; 11 — передатчик

Таблица 1

Типовые неисправности

Обозначение отказа	Вид отказа	Обозначение отказа	Вид отказа
Пост ГАЦ		ПРМ дополнительный	
Ф ₁	Отсутствие луча питания	Ф ₂₂	VD1 отказал
Муфта РМ		Ф ₂₃	DA1 отказал
Ф ₂	Обрыв жилы питания	Ф ₂₄	DA2 отказал
Ф ₃	Обрыв сигнальной жилы	Ф ₂₅	DD3 отказал
Путевой ящик		Ф ₂₆	VD5 отказал
Ф ₄	Обрыв жилы питания	Ф ₂₇	TV1 отказал
Ф ₅	Перегорание предохранителя	Ф ₂₈	Просадка плеча питания +14 – общ
Ф ₆	Выход из строя трансформатора СТ-4	Ф ₂₉	Просадка плеча питания –14 – общ
Ф ₇	Обрыв сигнальной жилы	Ф ₃₀	DD2 отказал
Муфта УПМ		Ф ₃₁	VD4 отказал
Ф ₈	Обрыв жилы питания	Ф ₃₂	VT1 отказал
Муфта УКМ		Ф ₃₃	VT2 отказал
Ф ₉	Обрыв жилы питания	Ф ₃₄	Сбита юстировка
Коммутация		ПРМ основной	
Ф ₁₀	Обрыв жилы до ПРД	Ф ₃₅	VD1 отказал
Ф ₁₁	Обрыв жилы до ПРМ основного	Ф ₃₆	DA1 отказал
Ф ₁₂	Обрыв жилы до ПРМ дополнительного	Ф ₃₇	DA2 отказал
ПРД		Ф ₃₈	DD3 отказал
Ф ₁₃	VD1 отказал	Ф ₃₉	VD5 отказал
Ф ₁₄	VD7 отказал	Ф ₄₀	TV1 отказал
Ф ₁₅	DD1,5-6 отказал	Ф ₄₁	Просадка плеча питания +14 – общ
Ф ₁₆	Обрыв жил в муфте УКМ	Ф ₄₂	Просадка плеча питания –14 – общ
Ф ₁₇	DD2 отказал	Ф ₄₃	DD2 отказал
Ф ₁₈	VD2 отказал	Ф ₄₄	VD4 отказал
Ф ₁₉	XT2 отказал	Ф ₄₅	VT1 отказал
Ф ₂₀	VT1 отказал	Ф ₄₆	VT2 отказал
Ф ₂₁	VT2 отказал	Ф ₄₇	Сбита юстировка

Таблица 2

Проверки, проводимые электромехаником на стойках РТД-С

Обозначение проверки	Формулировка проверки	Цена проверки, мин
π ₁	Имеется ли индикация питания ПРД?	1
π ₂	Имеется ли напряжение питания в муфте УКМ ПРД?	7
π ₃	Имеется ли индикация приема сигнала на обоих ПРМ?	2
π ₄	Имеется ли выходное напряжение ПРМ основного?	7
π ₅	Имеется ли управляющее напряжение на реле в муфте УПМ ПРМ?	2
π ₆	Имеется ли индикация приема сигнала хоть на одном ПРМ?	2
π ₇	Имеется ли напряжение питания в муфте УПМ ПРМ?	7
π ₈	Имеется индикация приема сигнала на ПРМ основного?	1

в оптимальный алгоритм диагностирования. Необходимо сделать акцент на том, что данное исследование использует внутренние отказы блоков приемника и передатчика по той причине, что при ручном диагностировании электромеханик не всегда способен точно отыскать отказавший блок по причине зависимостей всех блоков между собой. Возникают ситуации, когда отказал один из четырех приемных блоков, но нет возможности понять, какой точно, без углубленного анализа и множества измерений в муфте УКМ, при этом индикация на всех приемниках работает. Все это отнимает время.

При обустройстве дополнительных измерительных точек и СППР процедура восстановления исправного состояния РТД-С сведется к тому, что СППР подскажет, какой конкретный блок необходимо заменить, автоматически подскажет юстировку и внесет событие в журнал отказов. Подобные функции позволят освободить электромеханика по обслуживанию устройств автоматики и электромеханика КИП от рутинной работы ведения журнала отказов. Журнал перенесется в цифровой формат и может быть доступен всем причастным к оборудованию.

Проверки, которые необходимо проводить для выявления того или иного отказа в РТД-С, представлены в табл. 2. Цена проверки в табл. 2

демонстрирует время, которое требуется затратить на реализацию проверки в минутах.

Список проверок в табл. 2 сформулирован для полного диагностирования электромехаником с применением зрительной оценки и измерений электрических параметров. Рассмотрим подробнее ручное диагностирование электромехаником.

3.1. Алгоритм ручного диагностирования

Имеются устройства РТД-С, структура устройств принята как блочная и рассмотрена на рис. 5. Известно конечное множество отказов $\Phi = \{\varphi_i | i = \overline{1, m}\}$, которые могут возникать в аппаратуре (табл. 1), а также известно конечное множество проверок $\Pi = \{\pi_j | j = \overline{1, n}\}$ (табл. 2), которые позволяют выявить отказавший блок. В устройстве одновременно может находиться только один отказ. Все проверки имеют цены $c(\pi_j)$ — величина, указывающая, сколько времени необходимо затратить на проведение данной процедуры проверки. Отказы равновероятны. По заданным данным требуется синтезировать алгоритм ручного диагностирования и определить время, затрачиваемое на поиск отказа в устройстве РТД-С.

Для начала смоделируем ситуацию, при которой случился отказ в РТД-С и электромеханик, используя только измерительное оборудование и свой опыт, производит восстановление исправного состояния устройства.

Для поиска неисправностей электромеханик прибегает к измерительным приборам и производит измерения напряжений в необходимых точках в муфтах УКМ, установленных непосредственно у стойки излучателя и приемников. Из муфты УКМ до блоков проходит шлейф проводов — коммутация. В муфте электромеханик производит измерение напряжения питания, напряжения юстировки, выходное напряжение с блоков на реле. Помимо этого, на блоках имеется сигнальный светодиод, на излучателе он сигнализирует наличие питания, а на блоках приемника наличие приема сигнала. Таким образом, электромеханик методом анализа индикации и поочередного измерения контрольных точек делает выводы о том, какая случилась неисправность.

Таким образом, алгоритм диагностирования будет выглядеть так, как это представлено на рис. 6. Алгоритм построен на основе экспертной оценки в виде графа. Граф полихотомичный, бинарного вида, так как все проверки, проводимые электромехаником, аналогичны вопросам с исходами да/нет. Глубина диагностирования понижена, так как нет возможности в полевых условиях вручную выяснить отказавший узел. Вершины графа содержат такие параметры, как: $c(\pi_j)$ — цена проверки $\pi_j \in \Pi$ (пишется в скобках, обозначает количество минут, затраченных на проведение проверки),

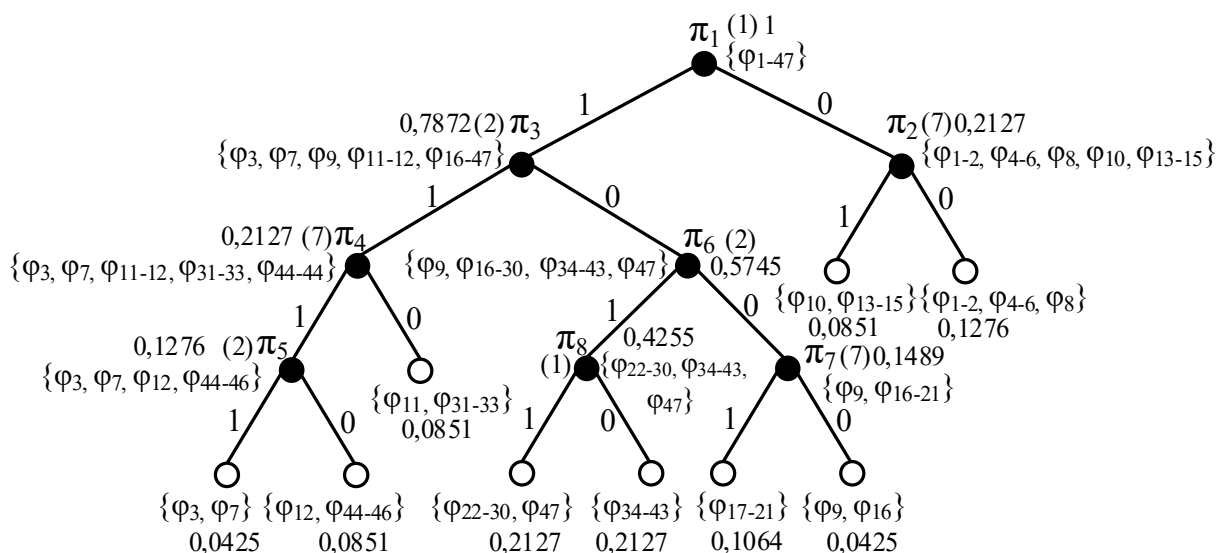


Рис. 6. Алгоритм ручного диагностирования

$p(\pi_j)$ — вес проверки $\pi_j \in \Pi$ (определяется как сумма весов событий, принадлежащих его подмножеству $a(\pi_j)$). Данные параметры позволяют произвести оценку цены обхода алгоритма $C(Q)$ (или среднее время обнаружения отказа в объекте диагностирования). Для подсчета средней цены обхода алгоритма пользуются следующей функцией:

$$C(Q) = \sum_{\pi_j \in \Pi} c(\pi_j) p(\pi_j).$$

Цена обхода алгоритма, представленного на рис. 6:

$$\begin{aligned} C(Q) &= \sum_{\pi_j \in I} c(\pi_j) p(\pi_j) = 1 \cdot 1 + 2 \cdot 0,1276 + \\ &+ 7 \cdot 0,2127 + 2 \cdot 0,7872 + 1 \cdot 0,4255 + 7 \cdot 0,1489 + \\ &+ 2 \cdot 0,5745 + 7 \cdot 0,2127 = 8,4 \text{ мин.} \end{aligned}$$

Итак, время ручной проверки комплекта РТД-С составляет от 8,4 минут, это без учета времени на передвижения электромеханика. При учете времени передвижения до отказавшего оборудования необходимо наличие в СТДМ плана станции с указанием ординат устройств и геопозиции электромеханика на момент возникновения отказа или предотказа. Время передвижения вычисляется из средней скорости перемещения человека и расстояния от электромеханика до отказавшего устройства. Геопозиция электромеханика может быть вычислена по его сотовому телефону или другой рабочей носимой электронике с доступом к интернету. С использованием подобного алгоритма диагностирования (рис. 6) электромеханик определит отказавший блок. На данном этапе восстановление работоспособности устройства будет завершено и отпуск перейдет в штатный режим.

Однако далее неисправный блок передают в КИП для дальнейшего диагностирования и ремонта. Таким образом, работник КИП с использованием ручного диагностирования решает задачу поиска в отказавшем блоке. Постановка задачи остается прежней, только необходим переход от блочной схемы на рис. 5 к схеме внутренней структуры блоков приемника (рис. 4) и передатчика. С учетом того,

какой блок отказал, набор проверок будет различаться. Для приемника проверки приведены в табл. 3, а для блока передатчика — в табл. 4. Для того чтобы в дальнейшем не путать между собой проверки из табл. 2–4, произведем сквозную нумерацию. Анализируя алгоритм диагностирования на рис. 6, выделим подмножества, которые необходимо разделить для блоков приемника и передатчика. Для приемника необходимо разделить подмножество $\Phi \setminus \Phi_{\text{прм}}^* = (\varphi_{22-34}) \sim (\varphi_{35-47})$ (проверки для основного и дополнительного приемника эквивалентны, так как блоки не имеют отличий). Для передатчика подмножество проверок $\Phi \setminus \Phi_{\text{прд}}^* = (\varphi_{13-21})$.

Для того чтобы провести все вышеуказанные проверки блоки приемника и передатчика разбирают и приступают к тестированию платы. Тестирование проходит с использованием специальных стендов и осциллографа. Усредненно считаем, что время проведения каждого теста 1 минута, так как некоторые тесты проводятся щупами с тестовыми воздействиями и на все действия необходимо время. С учетом проверок из табл. 3 и 4 алгоритмы ручных проверок и цены их реализации следующие:

Цена обхода алгоритма, представленного на рис. 7:

$$\begin{aligned} C(Q) &= \sum_{\pi_j \in \Pi} c(\pi_j) p(\pi_j) = 1 \cdot 1 + 1 \cdot 0,9167 + \\ &+ 1 \cdot 0,8333 + 1 \cdot 0,7500 + 1 \cdot 0,667 + 1 \cdot 0,5833 + \\ &+ 1 \cdot 0,5000 + 1 \cdot 0,4166 + 1 \cdot 0,3333 + 1 \cdot 0,2500 + \\ &+ 1 \cdot 0,1667 = 6,5 \text{ мин.} \end{aligned}$$

Цена обхода алгоритма, представленного на рис. 8:

$$\begin{aligned} C(Q) &= \sum_{\pi_j \in \Pi} c(\pi_j) p(\pi_j) = 1 \cdot 1 + 1 \cdot 0,8750 + \\ &+ 1 \cdot 0,7500 + 1 \cdot 0,6250 + 1 \cdot 0,5000 + 1 \cdot 0,3750 + \\ &+ 1 \cdot 0,2500 = 4,5 \text{ мин.} \end{aligned}$$

В итоге, как видно из расчетов, при ручном диагностировании приемника необходимо потратить от 6,5 минут, к этому добавляется время на транспортировку до КИП, время очереди на ремонт и время на вскрытие объекта.

Таблица 3

Проверки, проводимые работником КИП при поиске неисправности в приемнике

Обозначение проверки	Обнаруживаемая неисправность	Формулировка проверки	Цена проверки, мин
π_9	$\varphi_{22}, \varphi_{35}$	Тест приемного диода VD1. Исправен ли диод? (Да/Нет)	1
π_{10}	$\varphi_{23}, \varphi_{24}, \varphi_{36}, \varphi_{37}$	Тест операционных усилителей DA. Исправен ли усилитель? (Да/Нет)	1
π_{11}	$\varphi_{25}, \varphi_{38}$	Тест счетчика DD3. Исправен ли счетчик? (Да/Нет)	1
π_{12}	$\varphi_{26}, \varphi_{31}, \varphi_{39}, \varphi_{44}$	Тест диода выпрямительного моста VD. Исправен ли диод? (Да/Нет)	1
π_{13}	$\varphi_{27}, \varphi_{40}$	Тест трансформатора TV. Исправен ли трансформатор? (Да/Нет)	1
π_{14}	$\varphi_{28}, \varphi_{29}, \varphi_{41}, \varphi_{42}$	Тест плеча питания 14 В. Находится ли напряжение плеча в пределах нормы? (Да/Нет)	1
π_{15}	$\varphi_{30}, \varphi_{43}$	Тест инвертора DD2. Исправен ли инвертер? (Да/Нет)	1
π_{16}	$\varphi_{32}, \varphi_{33}, \varphi_{45}, \varphi_{46}$	Тест транзистора VT. Исправен ли транзистор? (Да/Нет)	1

Таблица 4

Проверки, проводимые работником КИП при поиске неисправности в передатчике

Обозначение проверки	Обнаруживаемая неисправность	Формулировка проверки	Цена проверки, мин
π_{17}	$\varphi_{13}, \varphi_{18}$	Тест диода выпрямительного моста VD. Исправен ли диод? (Да/Нет)	1
π_{18}	φ_{14}	Тест светодиода VD7. Исправен ли диод? (Да/Нет)	1
π_{19}	φ_{15}	Тест инвертора DD1,5-6. Исправен ли инвертер? (Да/Нет)	1
π_{20}	φ_{17}	Тест счетчика DD2. Исправен ли счетчик? (Да/Нет)	1
π_{21}	φ_{19}	Тест излучающего диода VD1. Исправен ли диод? (Да/Нет)	1
π_{22}	$\varphi_{20}, \varphi_{21}$	Тест транзистора VT. Исправен ли транзистор? (Да/Нет)	1

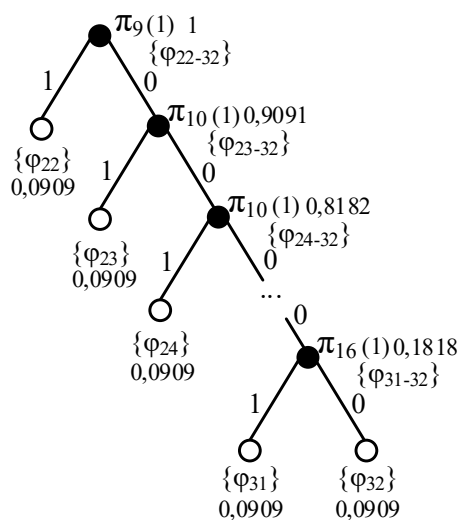


Рис. 7. Алгоритм ручного диагностирования приемника

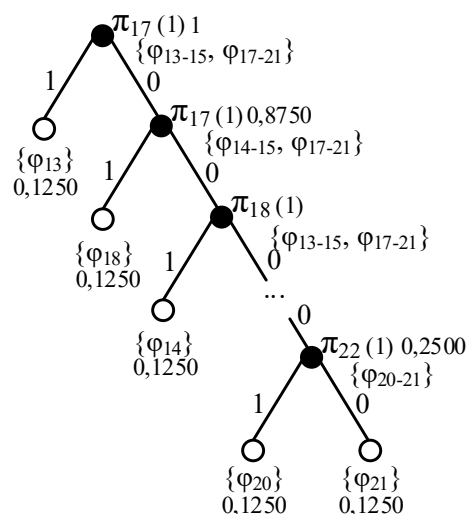


Рис. 8. Алгоритм ручного диагностирования передатчика

А для передатчика — от 4,5 минут. Далее, после найденной неисправности ее нужно устранить, то есть перепаять необходимый элемент.

Электромеханик по обслуживанию устройств горючей автоматики имеет необходимую

квалификацию для ремонта приемника и передатчика радиотехнического стрелочного датчика. Так как в КИП есть все необходимое для диагностики блоков, то и работа отдана им. Но интеграция диагностических точек внутрь

приемного и излучающего блока снимает необходимость в диагностике в КИП и освобождает его работников от трудозатрат. Вся диагностика ложится на систему мониторинга, которая, в свою очередь, протестировав компоненты удаленно, делает выводы о неисправности и заносит в электронный журнал всю необходимую информацию об отказавшем объекте. Такая информация может содержать сведения о номере и адресе комплекта, вышедшего из строя компонента, далее проверить наличие в запасе компонента для замены, а также занести компонент в лист заказов, если количество запасных подходит к концу.

Эффективность складывается из экономии времени на ведение электронных журналов отказов, перемещений оборудования от поста централизации до КИП (это иногда требует и авточасов, и затрат топлива), от очередей на ремонт, от работ по диагностированию объекта.

С внедрением алгоритмов диагностирования устройств автоматики на сортировочной горке можно добиться следующих эффектов:

- повышения эффективности работы средств СТДМ за счет автоматизации обработки диагностической и исторической информации об объекте диагностирования (нет необходимости в анализе отказа человеком);
- централизации базы данных об отказах конкретных объектов диагностирования для доступа как обслуживающего персонала, так и работников КИП (при необходимости просмотр событий на объекте диагностирования и его функционирования);
- непрерывного контроля функционирования устройств автоматики и прогнозирования перехода предотказных состояний в отказные;
- создания СППР, которая генерирует алгоритм действия для персонала с точностью до отказавшего элемента (позволяет исключить фактор опыта персонала, тем самым повысить эффективность неопытного персонала);
- автоматизации ведения журналов об отказах и своевременной передачи сообщений о событиях на объекте диагностирования

(нет возможности скрыть факт возникновения предотказа и произошедшего отказа);

- разгрузки персонала от части работ по обслуживанию и анализу данных;
- переход от периодического обслуживания к обслуживанию по состоянию.

3.2. Оптимизация алгоритма диагностирования

Как ранее упоминалось, стоит задача повышения эффективности СТДМ путем интеграции алгоритмов диагностирования в программное обеспечение. Для примера подобного синтеза автором статьи предлагается рассмотреть метод корневого вопроса. На основе ранее проведенных исследований было выяснено, что возможно синтезировать алгоритмы диагностирования, имеющие проверки с основаниями больше двух $a(\pi_j) > 2$ [16–21]. В данной статье для простоты восприятия авторы экспериментировали с проверками бинарного вида, при дальнейшем углубленном исследовании возможно составить проверки, которые будут иметь количество исходов больше двух, что сократит количество вопросов, и возможно сократить время на синтез алгоритма диагностирования [21].

Метод корневого вопроса подразумевает сравнение всех вопросов между собой на предпочтительность с использованием специального управляющего правила. Управляющим правилом является функция предпочтения, которая показывает, какой из двух сравниваемых вопросов π_i или π_j задать предпочтительнее, между собой сравниваются цены обхода двух вопросников, образованных сравниваемыми между собой вопросами: первый образуется путем постановки в качестве корневого вопроса π_i , затем на втором ранге имеющий смысл вопрос π_j , а второй — постановкой корневого вопроса π_j , затем на втором ранге имеющий смысл вопрос π_i . Такая функция описана в [21].

Приведем пример рассуждения при синтезе алгоритма диагностирования с применением известного метода корневого вопроса для обрисовки общей картины. Синтез алгоритма с применением метода в статье представлен не будет по причине объема вычислений.

3.3. Пример применения метода корневого вопроса для синтеза алгоритма диагностирования стрелочного радиотехнического датчика

Постановка задачи отличается от пункта 3.1 тем, что по заданным данным требуется синтезировать алгоритм диагностирования, среднее время реализации которого будет наименьшим ($C(Q) \rightarrow \min$) среди всех возможных $m!$ алгоритмов для заданных условий.

Подробно работа метода представлена в [21], где и доказана его эффективность. В данной же статье для сокращения объема автором было принято решение подробно не расписывать ход оптимизации, а сформировать исходные данные и расчет эффективности. По представленным исходным данным с применением метода корневого вопроса возможно восстановить весь эксперимент и убедиться в эффективности работы метода.

Для работы метода приведем сводную анкету неисправностей, в которой будут указаны все проверки и все отказы (хотелось бы напомнить, что из-за отсутствия подробной статистики количества отказов для расчета принимается, что вероятность возникновения каждого отказа одинаковая, то есть отказы равновероятны) блока с точностью до радиоэлемента (табл. 5). Для наглядности цветами обозначены: белым — данные из таблицы 2, темно-серым — данные из табл. 3 и светло-серым — из табл. 4.

Анализируя табл. 5, можно заметить, что объем операций, которые необходимо провести, велик для ручного пересчета. Так, пользуясь общей функцией предпочтения из [21], уже на первом этапе вычисления корневого вопроса потребуется пересчет $C_{22}^2 = 231$ комбинации. Целесообразно данную работу производить с применением вычислительных ресурсов компьютера. На данном этапе исследования авторами ведется наладка и тестирование программного кода, реализуемого алгоритм метода корневого вопроса для работы с подобными анкетами. Однако используя ранее полученные результаты исследования метода для анкет меньших объемов, было получено сокращение времени поиска неисправности на 20 % по сравнению с ручным поиском.

Таким образом, удастся не просто сократить время поиска неисправности в устройстве с 8,4 минуты до 6 минут, но и разработать такой математический аппарат, который позволит диагностировать неисправность с точностью до радиоэлемента и исключить дополнительные исследования, проводимые в КИП, и время перевозок между объектами. В будущем при интеграции микропроцессорных систем с возможностью самодиагностики предлагаемый аппарат позволит предсказывать возникновения отказов по новым точкам измерения, заложенным на этапе проектирования [22, 23]. Кроме того, интеграция подобных инструментов способствует повышению уровня качества функционирования системы СППР [24, 25].

Заключение

Развитие систем технического диагностирования и мониторинга систем автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта напрямую влияет на качество перевозочного процесса, позволяя не нести потери при возникновении предосторожностей и отказов. Экономическую эффективность подобных решений возможно оценить только на протяжении времени и с учетом тех отказов, которые не случились, с учетом сохраненного времени из-за сокращения трудозатрат на периодическое обслуживание объекта, с учетом отсутствия затрат на перемещение и дополнительное диагностирование объекта в КИП.

Полученные в работе результаты демонстрируют, что интеграция алгоритмов диагностирования в диагностический комплекс сортировочной горки позволяет сократить минимум на 20 % время до восстановления объекта, а также модернизировать уже устоявшиеся принципы обслуживания горочных устройств. Время, которое высвободится от внедрения автоматизации диагностирования, персонал может потратить на решение других задач, связанных с их должностными обязанностями. Кроме того, при интегрированных алгоритмах компьютер сам будет производить проверки и анализ диагностической информации, что сокращает воздействие человеческого фактора.

Данные исследования остаются актуальными по той причине, что до сих пор на

Таблица 5
Полная анкета неисправностей для диагностирования комплекта радиотехнических стрелочных датчиков

φ_j π_j	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6	φ_7	φ_8	φ_9	φ_{10}	φ_{11}	φ_{12}	φ_{13}	φ_{14}	φ_{15}	φ_{16}	φ_{17}	φ_{18}	φ_{19}	φ_{20}	φ_{21}	φ_{22}	φ_{23}	φ_{24}	φ_{25}	φ_{26}	φ_{27}	φ_{28}	φ_{29}	φ_{30}	φ_{31}	φ_{32}	φ_{33}	φ_{34}	φ_{35}	φ_{36}	φ_{37}	φ_{38}	φ_{39}	φ_{40}	φ_{41}	φ_{42}	φ_{43}	φ_{44}	φ_{45}	φ_{46}	φ_{47}						
π_1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
π_2	7	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
π_3	2	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
π_4	7	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
π_5	2	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
π_6	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
π_7	7	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
π_8	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
π_9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
π_{10}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
π_{11}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
π_{12}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
π_{13}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
π_{14}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
π_{15}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
π_{16}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
π_{17}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
π_{18}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
π_{19}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
π_{20}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
π_{21}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
π_{22}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
$P(\varphi_j)$	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212	0,0212

железных дорогах России функционируют устройства на радиотехнической базе и для автоматизации диагностирования таких объектов необходимы дополнительные технические средства.

Предложенные в статье решения позволяют автоматизировать не только измерение каких-либо отдельных параметров объекта, но и производить их автоматический анализ, например, с использованием рассмотренного в статье математического аппарата, вести автоматизированный учет всех событий объекта и дополнять историю эксплуатации объекта диагностирования. Подобные решения являются дополнительными драйверами для перехода к обслуживанию по состоянию, переходу от ведения бумажных журналов и сокращению влияния человека на объект диагностирования. Для сокращения времени до восстановления отказавшего объекта необходимо совершенствование методов технического диагностирования и мониторинга, сокращение участия человека в анализе и поиске отказа, увеличение количества автоматически измеряемых параметров устройства, автоматизация обработки измеренных параметров, централизация сбора исторической информации о работе и проведенных работах на объекте диагностирования. ▲

Библиографический список

1. Шелухин В. И. Автоматизация и механизация сортировочных горок : учебник для техникумов и колледжей ж.-д. транспорта / В. И. Шелухин. — М.: Маршрут, 2005. — 240 с.
2. Theeg G. Railway Signalling & Interlocking: 2nd Edition / G. Theeg, S. Vlasenko. — Germany, Hamburg: PMC Media House GmbH, 2018. — 458 p.
3. Yildirim U. Fail-Safe Signalization and Interlocking Design for a Railway Yard: An Automation Petri Net Approach / U. Yildirim, M. S. Durmuş, M. T. Söylemez // Proceedings of 7th International Symposium on Intelligent and Manufacturing Systems (IMS 2010), Sarajevo, Bosnia Herzegovina, 15–17 September 2010. — Pp. 461–470.
4. Андронов Д. В. Опыт эксплуатации системы КСАУ СП / Д. В. Андронов // Автоматика, связь, информатика. — 2013. — № 11. — С. 16–18.
5. Ефанов Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики: монография / Д. В. Ефанов. — СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. — 171 с.
6. Сепетый А. А. Опытная эксплуатация системы СКА-СП на сортировочной горке / А. А. Сепетый, А. Ю. Сергеев, И. А. Фарапонов, М. В. Римский // Автоматика, связь, информатика. — 2017. — № 5. — С. 24–29.
7. Novák P. Predicting the Life Expectancy of Railway Fail-Safe Signaling Systems Using Dynamic Models with Censoring / P. Novák, M. Daňhel, R. B. Blažek et al. // IEEE International Conference on Software Quality, Reliability and Security (QRS), 25–29 July 2017, Prague, Czech Republic. — Pp. 329–339. — DOI: 10.1109/QRS.2017.43.
8. Шабельников А. Н. КСАУ СП — новое направление автоматизации сортировочных горок / А. Н. Шабельников, В. Н. Соколов // Автоматика, связь, информатика. — 2017. — № 8. — С. 2–4.
9. Ефанов Д. В. Микропроцессорная система диспетчерского контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов, Г. В. Осадчий. — СПб.: Лань, 2022. — 2-е изд. — 180 с.
10. Picard C. F. Graphs and Questionnaires / C. F. Picard. — Netherlands: North-Holland Publishing Company, 1980. — 431 p.
11. Пархоменко П. П. Основы теории диагностики (оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратные средства) / П. П. Пархоменко, Е. С. Согомоян. — М.: Энергоатомиздат, 1981. — 320 с.
12. Аржененко А. Ю. Оптимальные бинарные вопросники / А. Ю. Аржененко, Б. Н. Чугаев. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 128 с.
13. 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, 9–16 September 2018. — Pp. 1–5. — DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501720.
14. 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.
15. Хорошев В. В. Повышение отказоустойчивости устройств автоматического роспуска составов на железнодорожных сортировочных горках с помощью непрерывного мониторинга / В. В. Хорошев // Автоматика на транспорте. — 2018. — Т. 4. — № 3. — С. 355–379.
16. Ефанов Д. В. Синтез алгоритмов поиска дефектов устройств железнодорожной автоматики и телемеханики с применением теории вопросников / Д. В. Ефанов, А. Н. Павлов // Сборник материалов IV ежегодной МНПК «Перспективы развития информационных технологий». — Новосибирск, 2011. — С. 117–123.
17. Сапожников Вл. В. Теория вопросников и поиск неисправностей в УКСПС / Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, А. Н. Павлов // Автоматика, связь, информатика. — 2012. — № 1. — С. 30–33.
18. Ефанов Д. В. Оптимизация полихотомичных вопросников методом корневого вопроса / Д. В. Ефанов, А. Н. Павлов // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2012. — № 4. — С. 125–134.
19. 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, 14–17 September 2018. — Pp. 237–245. — DOI: 10.1109/EWDTS.2018.8524620.
20. Efanov D. V. Ternary Questionnaires / D. V. Efanov, V. V. Khóroshev // 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.
 21. 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.
 22. Lu B. An Novel Testing Sequence Optimization Method under Dynamic Environments / B. Lu, W. Mei, J. Zhou et al. // 10th International Conference on Communications, Circuits and Systems (ICCCAS), 22–24 December 2018, Chengdu, China. — DOI: 10.1109/ICCCAS.2018.8768976.
 23. Huang X. Research on Transformer Fault Diagnosis Method based on GWO Optimized Hybrid Kernel Extreme Learning Machine / X. Huang, X. Wang, Y. Tian // Condition Monitoring and Diagnosis (CMD), Perth, WA, Australia, 23–26 September 2018. — DOI: 10.1109/CMD.2018.8535862.
 24. Efanov D. Improving the Monitoring Systems Algorithmic Support for Railway Automation Equipment's Based on Dynamic Questionnaires / D. Efanov, V. Khoroshev // Proceedings of 18th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2020), Varna, Bulgaria, 4–7 September 2020. — Pp. 149–158. — DOI: 10.1109/EWDTS50664.2020.9224693.
 25. 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, 5–11 September 2021. — Pp. 207–213. — DOI: 10.1109/RusAutoCon52004.2021.9537383.

TRANSPORT AUTOMATION RESEARCH, 2022, Vol. 8, No. 3, pp. 307–323
DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-03-307-323

Search Automation for Failures of Pointer Radio Sensors with the Use of Technical Diagnosing and Monitoring Means.

Information about author

Khoroshev V. V., PhD in Engineering, Senior Lecturer. E-mail: hvv91@icloud.com

Russian University of Transport (MIIT), Department of Automation, Remote Control and Communication on Railway Transport, Moscow

Abstract: The article is devoted to the matter of automatic diagnosing of automation hump devices such as pointer radio sensors. The matter vitality is in that considered in the article the kind of sensors fulfills important control function of turnout occupancy, but sensors' data diagnosing is made manually and takes certain time. This time directly influences the recovery time of an object at happened failure and the more this time the lower the capacity of a sorting station. The article's author proposes integrating into hump diagnostic complex program software of diagnostic algorithms for diagnostic procedure automation for being investigated devices. The article considers: investigation object structure, possible failures and pre-failures, the specificities of pursuing maintenance of an object. The author holds algorithm synthesis for manual diagnosing of an object and corresponding labor costs. The article proposes as an example - to solve applied tasks of object diagnosing with the use of questionnaire theory and to optimize diagnostic algorithms in real time with the use of root question method. Besides, the author considers and proposes modernized approach to all maintenance cycle for pointer radio sensors; the cycle will allow to free hours of personnel labor costs for the maintenance of investigated sensors for the production of other, no less important works.

Keywords: diagnostic algorithm; questionnaire theory; optimization; diagnostic algorithm synthesis; decision making support system; automation; technical object; railway radio sensor; automatic control devices.

References

1. Shelukhin V. I. *Avtomatizatsiya i mekhanizatsiya sortirovochnykh gorok* [Automation and mechanization of marshalling yards: a textbook for technical schools and colleges of railroad. transport]. Moscow: Marshrut Publ., 2005. 240 p. (In Russian)
2. Theeg G., Vlasenko S. *Railway Signalling & Interlocking: 2nd Edition*. Germany, Hamburg: PMC Media House GmbH, 2018, 458 p.
3. Yildirim U., Durmuş M. S., Söylemez M. T. Fail-Safe Signalization and Interlocking Design for a Railway Yard: An Automation Petri Net Approach. Proceedings of 7th International Symposium on Intelligent and Manufacturing Systems (IMS 2010), Sarajevo, Bosnia Herzegovina, September 15–17, 2010, pp. 461–470.
4. Andronov D. V. Opyt ekspluatatsii sistemy KSAU SP [Experience in operating the KSAU SP system]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communication, informatics]. 2013, I. 11, pp. 16–18. (In Russian)
5. Efanov D. V. *Funktsional'nyy kontrol' i monitoring ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki* [Functional control and monitoring of railway automation and remote control devices]. St. Petersburg: FGBOU VO PGUPS Publ., 2016. 171 p. (In Russian)
6. Sepetyy A. A. Opytnaya ekspluatatsiya sistemy SKASP na sortirovochnoy gorke [Pilot operation of the SKA-SP system on a marshalling yard]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communication, informatics]. 2017, I. 5, pp. 24–29. (In Russian)
7. P. Novák, M. Daňhel, R.B. Blažek, M. Kohlík, and H. Kubátová "Predicting the Life Expectancy of Railway Fail-Safe Signaling Systems Using Dynamic Models with Censoring". IEEE International Conference on Software Quality, Reliability and Security (QRS), 25–29 July 2017, Prague, Czech Republic, pp. 329–339, DOI: 10.1109/QRS.2017.43.
8. Shabel'nikov A. N. KSAU SP – novoe napravlenie avtomatizatsii sortirovochnykh gorok [KSAU SP – a new direction of automation of marshalling yards]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communication, informatics]. 2017, I. 8, pp. 2–4. (In Russian)
9. Efanov D. V., Osadchii G. V. *Mikroprotsessornaya sistema dispetcherskogo kontrolya ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki* [Microprocessor system for dispatching control of devices of railway automation and telemechanics]. St. Petersburg: «Lan'» Publ., 2022. 180 p. (In Russian)
10. Picard C. F. *Graphs and Questionnaires*. Netherlands: North-Holland Publishing Company, 1980. 431 p.
11. Parkhomenko P. P. *Osnovy teorii diagnostiki (optimizatsiya algoritmov diagnostirovaniya, apparaturnye sredstva)* [Fundamentals of the theory of diagnostics (optimization of diagnostic algorithms, hardware)]. Moscow: Energoatomizdat Publ., 1981. 320 p. (In Russian)
12. Arzhenenko A. Yu., Chugaev B. N. *Optimal'nye binarnye voprosniki* [Optimal binary questionnaires]. Moscow: Energoatomizdat Publ., 1989. 128 p. (In Russian)
13. Khóroshev V. V., Efanov D. V., Osadchii G. V. Ways of Development of Periodical and Continuous Monitoring Means for Automatic Devices on Marshalling Yards. Proceedings of 1th International Russian Automation Conference (RusAutoCon),

- Sochi, Russia, September 9–16, 2018, pp. 1–5, DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501720.
14. Efanov D. V., Khoroshev V. V. Problemy nepreryvnogo monitoringa ustroystv avtomatiki na sortirovochnykh gorkakh [Problems of continuous monitoring of automation devices on marshalling yards]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communication, informatics]. 2018, I. 8, pp. 30–35. (In Russian)
 15. Khoroshev V. V. Povyshenie otkazoustoychivosti ustroystv avtomaticheskogo raspuskas sostavov na zheleznodorozhnykh sortirovochnykh gorkakh s pomoshch'yu nepreryvnogo [Increasing the fault tolerance of devices for automatic dissolution of trains on railway marshalling yards using continuous monitoring]. *Avtomatika na transporte* [Automatic on transport]. 2018, Vol. 4, I. 3, pp. 355–379. (In Russian)
 16. Efanov D. V., Pavlov A. N. Sintez algoritmov poiska defektov ustroystv zhe-leznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki s primeneniem teorii voprosnikov [Synthesis of algorithms for searching for defects in railway automation and telemechanics devices using the theory of questionnaires]. *Sbornik materialov IV ezhegodnoy MNPK «Perspektivy razvitiya informatsionnykh tekhnologiy»* [Collection of materials of the IV annual MNPK “Prospects for the development of information technologies”]. Novosibirsk, 2011, pp. 117–123. (In Russian)
 17. Sapozhnikov VI. V., Efanov D. V., Pavlov A. N. Teoriya voprosnikov i poisk neispravnostey v UKSPS [Theory of questionnaires and the search for faults in UKSPS]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communication, informatics]. 2012, I. 1, pp. 30–33. (In Russian)
 18. Efanov D. V., Pavlov A. N. Optimizatsiya polikhotomichnykh voprosnikov metodom kornevogo voprosa [Optimization of polychotomic questionnaires by the root question method]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Izvestiya of the Petersburg University of Communications]. 2012, I. 4, pp. 125–134. (In Russian)
 19. 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, September 14–17, 2018, pp. 237–245. DOI: 10.1109/EWDTS.2018.8524620.
 20. Efanov D. V., Khóroshev V. V. Ternary Questionnaires. 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.
 21. Efanov D. V. Metod uporyadocheniya protsedur razbieniya sostoyaniy protsedurami s dvumya i tremya iskhodami s uchetom ikh stoimosti i vesov sostoyaniy [Method for ordering procedures for splitting states with procedures with two and three outcomes, taking into account their cost and weights of states]. *Trudy SPIIRAN* [Proceedings of SPIIRAN, Proceedings of SPIIRAN]. 2020, I. 1, pp. 218–243. DOI: 10.15622/sp.2020.19.1.8. (In Russian)
 22. Lu B., Mei W., Zhou J., Zhou H., Du L., Liu Z. An Novel Testing Sequence Optimization Method under Dynamic Environments 2018. 10th International Conference on Communications, Circuits and Systems (ICCCAS) 22–24 December 2018, Chengdu, China. DOI: 10.1109/ICCCAS.2018.8768976.
 23. Huang X., Wang X., Tian Y. Research on Transformer Fault Diagnosis Method based on GWO Optimized Hybrid Kernel Extreme Learning Machine. 2018 Condition Monitoring and Diagnosis (CMD), Perth, WA, Australia, 23–26 September 2018. DOI: 10.1109/CMD.2018.8535862.
 24. Efanov D., Khoroshev V. Improving the Monitoring Systems Algorithmic Support for Railway Automation Equipment's Based on Dynamic Questionnaires. Proceedings of 18th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2020), Varna, Bulgaria, September 4–7, 2020, pp. 149–158. DOI: 10.1109/EWDTS50664.2020.9224693.
 25. Efanov D. V., Khóroshev V. V. Decision Support Level in Monitoring Systems for Railway Automation Based on Questionnaire Theory. Proceedings of 4th International Russian Automation Conference (RusAutoCon), Sochi, Russia, September 5–11, 2021, pp. 207–213. DOI: 10.1109/RusAutoCon52004.2021.9537383.