

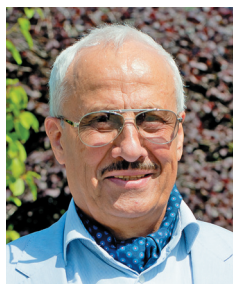
Автоматизированная система прогнозирования пожарной безопасности объектов железнодорожного транспорта на основе оценки рисков

Ольга Б. Проневич, АО «НИИАС», Москва, Россия, e-mail: o.pronovich@vniias.ru

Игорь Б. Шубинский, АО «НИИАС», Москва, Россия, e-mail: igor-shubinsky@yandex.ru



Ольга Б. Проневич



Игорь Б. Шубинский

Резюме. Цель. Развитие железных дорог России сопровождается увеличением количества эксплуатируемых зданий, подвижного состава, усложнением технологических процессов содержания инфраструктуры и обслуживания клиентов. В этих условиях ОАО «РЖД» необходимо управлять пожарной безопасностью более чем десяти тысяч единиц тягового подвижного состава и сотен зданий, пожары на которых могут привести к причинению вреда пассажирам или остановке движения. Управление пожарной безопасностью как стационарных, так и передвижных объектов железнодорожного транспорта (ЖДТ) осуществляется на всех стадиях жизненного цикла – от стадии проектирования до утилизации объектов. С целью реализации технологических процессов диагностирования и прогнозирования пожарной безопасности должна быть разработана человеко-машинная система, ядром которой должна являться автоматизированная система управления (АСУ) пожарными рисками, позволяющая на основании результатов прогноза пожарного риска принимать решение о необходимости ремонта, замены или технического обслуживания объектов ЖДТ и системы обеспечения пожарной безопасности. **Методы.** Использованы методы теории автоматического управления, экспертных оценок. В исследовании решалась задача разработки алгоритма автоматизированного аудита пожарной безопасности объектов ЖДТ. **Результаты.** Определено, что большинство систем управления пожарной безопасностью для обнаружения признаков опасности до возникновения горения используют датчики уровня концентрации газа. Такой подход малоэффективен для решения задач обеспечения пожарной безопасности на ЖДТ. Для объектов ЖДТ, фактическое состояние которых влияет на вероятность возникновения пожара, разработан алгоритм пожарного аудита, основанный на существующей системе технического обслуживания и ремонта, а также статистических данных о состояниях объектов ЖДТ, предшествующих пожару. Для проведения системных мероприятий по управлению рисками большого количества объектов ЖДТ предложена структура автоматизированной системы управления пожарными рисками, содержащая центр управления пожарной безопасностью и мобильный программно-аппаратный комплекс для аудита пожарной безопасности. **Выводы.** Показана важность разработки проактивной системы управления пожарной безопасностью на основе оценки пожарных рисков. Определено, что источниками информации о состояниях, предшествующих горению объектов ЖДТ могут быть как существующие автоматизированные системы учета отказов, оценки рисков, так и результаты диагностики фактического состояния объектов в рамках планово-предупредительных ремонтов. Для системного управления пожарными рисками множества объектов ЖДТ предложен способ автоматизированной оценки пожарного риска.

Ключевые слова: пожарный риск, алгоритм автоматизированного аудита, проактивная система управления пожарной безопасностью, автоматизированная оценка пожарного риска

Формат цитирования: Проневич О.Б., Шубинский И.Б., Автоматизированная система прогнозирования пожарной безопасности объектов железнодорожного транспорта на основе оценки рисков// Надежность. 2019. Т. 19, №1, С. 48-54. DOI: 10.21683/1729-2646-2019-19-1-48-54

Введение

Первые пожарные датчики были разработаны в XIX веке и основывались на определении температуры, то есть, по существующей классификации являлись тепловыми пожарными извещателями [1]. Именно с датчиков начинается большинство автоматизированных систем контроля и регулирования (управления). С развитием информационных технологий обеспечение безопасности становится все более простой задачей, но в то же время требующей применения сложных алгоритмов. В сфере обеспечения пожарной безопасности на данный момент можно отметить наличие автоматизированных систем управления пожарной безопасностью, а также применение интеллектуальных и роботизированных систем при оповещении, тушении пожара. При проектировании зданий с систем автоматического тушения пожаров используется компьютерное моделирование процессов эвакуации из зданий. Автоматизация и информатизация видна на каждом из этапов обеспечения противопожарной безопасности как в системах предотвращения пожара, так и в системах противопожарной защиты. В основе этой автоматизации лежат технологии, позволяющие собирать статистическую информацию о случаях пожара, анализировать, расследовать и предлагать решения, для предотвращения повторных инцидентов.

Для обеспечения пожарной безопасности крупных объектов различные программно-аппаратные комплексы объединяются в единую автоматизированную систему управления пожарной безопасностью. Исследованию архитектуры программного обеспечения систем, связанных с безопасностью, посвящена работа [2]. Событийная система обладает рядом преимуществ, ценных для задач обеспечения пожарной безопасности: в систему легко может быть добавлен новый компонент, компоненты могут реагировать на любые события. Однако для архитектуры такого типа нет гарантий реакции на события, следовательно, подтверждение реакции на событие должно производиться явно. А для этого необходим интерфейс взаимодействия с внешними системами, человеком или автоматизированная система поддержки принятия решений.

В настоящей работе исследуется задача построения функциональной структуры автоматизированной си-

стемы управления пожарной безопасностью объектов железнодорожного транспорта (ЖДТ) на основе оценки пожарных рисков, позволяющей прогнозировать вероятность появления пожара на основе информации о результатах диагностики состояния объектов ЖДТ.

1. Проблема автоматизированного диагностирования неисправностей объектов, влияющих на пожарную безопасность

В соответствии с требованиями свода правил [3] для обнаружения места загорания в качестве идентифицирующего устройства могут использоваться телевизионные камеры и матричные световые датчики с адресным указанием очага пожара, адресные автоматические пожарные извещатели, сигнализаторы потока жидкости или спринклерные оросители с контролем пуска. На эффективность всех последующих после обнаружения загорания действий влияет скорость обработки извещателем сигналов, поступающих из окружающей среды. Для этих целей разрабатываются различные алгоритмы обработки контролируемых параметров окружающей среды [4]. Другим важным фактором является надежность программного обеспечения. Вопросами надежности автоматизированных систем управления, в т.ч. пожарной безопасности, занимались многие исследователи [5, 6, 7, 8]. В работе [9] исследована задача защиты программного обеспечения от сбоев аппаратуры, что особенно актуально для систем, основанных на датчиках. Высокая скорость работы датчиков и надежность элементов автоматизированных систем являются необходимыми, но не достаточными условиями для эффективного управления пожарной безопасностью сложных технических объектов. Современные системы должны позволять не только эффективно тушить обнаруженный пожар, но и предотвращать появление горения. Для этого в схему работы пожарной сигнализации (ПС) и системы оповещения и управления эвакуацией людей (СОУЭ), представленных в работе [10] должен быть добавлен контур раннего обнаружения пожароопасных состояний до возникновения горения (рис. 1).

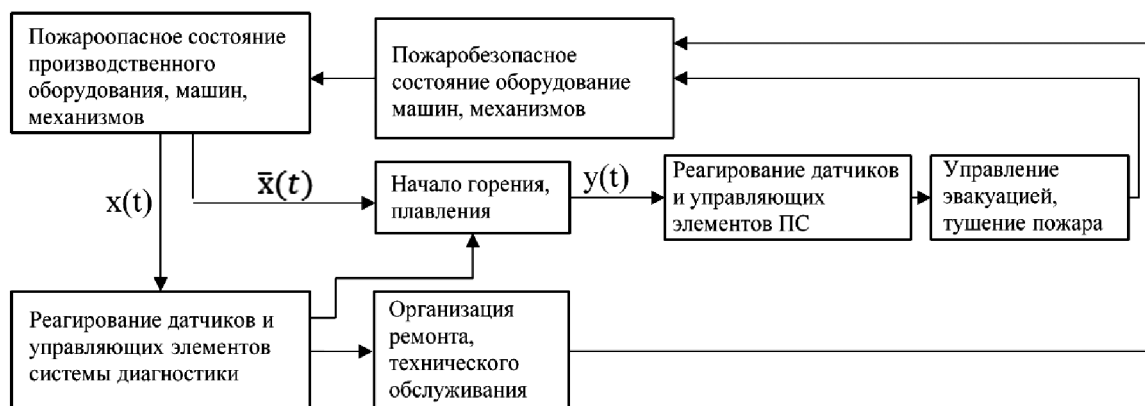


Рисунок 1 – Схема работы ПС и СОУЭ с контуром обнаружения пожароопасных состояний до появления горения

На рис. 1 обозначено:

$x(t)$ – параметры объекта оценки (оборудования / машины / механизма), свидетельствующие о наличии пожароопасного состояния объекта, которые могут быть выявлены с помощью средств диагностики, в т.ч. визуального осмотра объекта человеком;

$\bar{x}(t)$ – параметры объекта оценки (оборудования / машины / механизма), свидетельствующие о наличии пожароопасного состояния объекта, которые не могут быть выявлены с помощью средств диагностики, в т.ч. визуального осмотра объекта человеком;

$y(t)$ – параметры окружающей среды, регистрируемые пожарной сигнализацией.

Большинство автоматизированных систем управления пожарной безопасностью содержат только датчики, реагирующие на параметры $y(t)$. Но в настоящее время, ввиду увеличения стоимости оборудования, появления необходимости круглосуточной работы, необходимы системы, способные обнаружить признаки пожароопасного состояния до возникновения горения. Такая система позволит избежать аварийной остановки производственного процесса, а также существенно сократить затраты, в т.ч. из-за предотвращения потерь бизнеса. Особенно актуален вопрос предотвращения потерь бизнеса из-за аварийной остановки производственного процесса для ЖДТ. Для построения проактивной системы управления пожарной безопасностью необходима разработка методов и инструментов диагностики параметров, свидетельствующих о наличии пожароопасного состояния объекта. На основании оценки пожарных рисков выявленных состояний должно приниматься решение об изменении состояния контролируемого объекта до возникновения горения. В таблице 1 приведен анализ технических средств, применяемых для прогнозирования пожарной опасности объектов до возникновения горения.

В настоящее время проактивные системы управления пожарной безопасностью применяются, преимущественно в нефтегазовой отрасли и основным параметром $x(t)$, который могут наблюдать, является концентрация газа. Автоматизированные системы, основанные на газосигнализаторах, также применяются в замкнутых системах: на подводных лодках, складах. Однако такие инструменты диагностики не применимы на многих других производственных объектах. Ввиду этого возникает

необходимость разработки автоматизированных систем мониторинга неисправностей влияющих на пожарную безопасность. Особенно актуальна эта задача в свете масштабной автоматизации производственных процессов и появления баз данных о фактическом состоянии объектов. Например, в ОАО «РЖД» функционируют автоматизированные системы учета отказов технических средств [15], системы управления надежностью и рисками [16]. Информацию из этих систем следует использовать для решения различных задач. Однако не всегда целесообразна полная автоматизация процессов диагностики. Важное значение имеет цена датчиков, сенсоров и т.п., наличие уже существующих систем осмотра объектов с участием человека. Последнее особенно важно для объектов, проходящих регулярные циклы технического обслуживания и ремонта (ТОиР). К таким объектам на ЖДТ относятся: тяговый подвижной состав, оборудование постов электрической централизации, оборудование тяговых подстанций и т.п. На этих объектах уже существует налаженная система ТОиР. Результаты диагностики объектов в рамках ТОиР могут быть использованы и для целей обеспечения пожарной безопасности. Очевидно, что пожароопасных состояний объектов намного меньше, чем неисправных или предотказных состояний. Ввиду этого целесообразно говорить о пожарном аудите объектов, критерии которого должны быть связаны с состояниями, которые действительно могут привести к пожару.

2. Диагностирование неисправностей объектов железнодорожного транспорта, приводящих к повышению пожарной опасности

При аудите сложных технических систем эксперты сталкиваются с двумя проблемами: ограничения человеческой памяти на перечень возможных опасных состояний объектов ЖДТ (в т.ч. «заучивание» типовых наборов и игнорирование состояний вне опыта эксперта), а также временные затраты на согласование мнений участников аудита. Эти проблемы эффективно решаются использованием человеко-машинных систем,

Таблица 1 – Основные средства обнаружения признаков пожарной опасности до возникновения горения

Объект	Техническое средство	Контролируемое пожароопасное состояние
Объекты нефтеобработывающей промышленности [11]	Датчик контроля загазованности	Взрывоопасная концентрация газа
Спортивные сооружения [12]	Датчики концентрации горючих газов и паров аммиака	Взрывоопасная концентрация газа, предельно-допустимая концентрация
Трубопроводы [13]	Датчик давления	Повышенное давление
Торфяники [14]	Газовые торфяные стволы-термозонды	Температура, концентрация газов

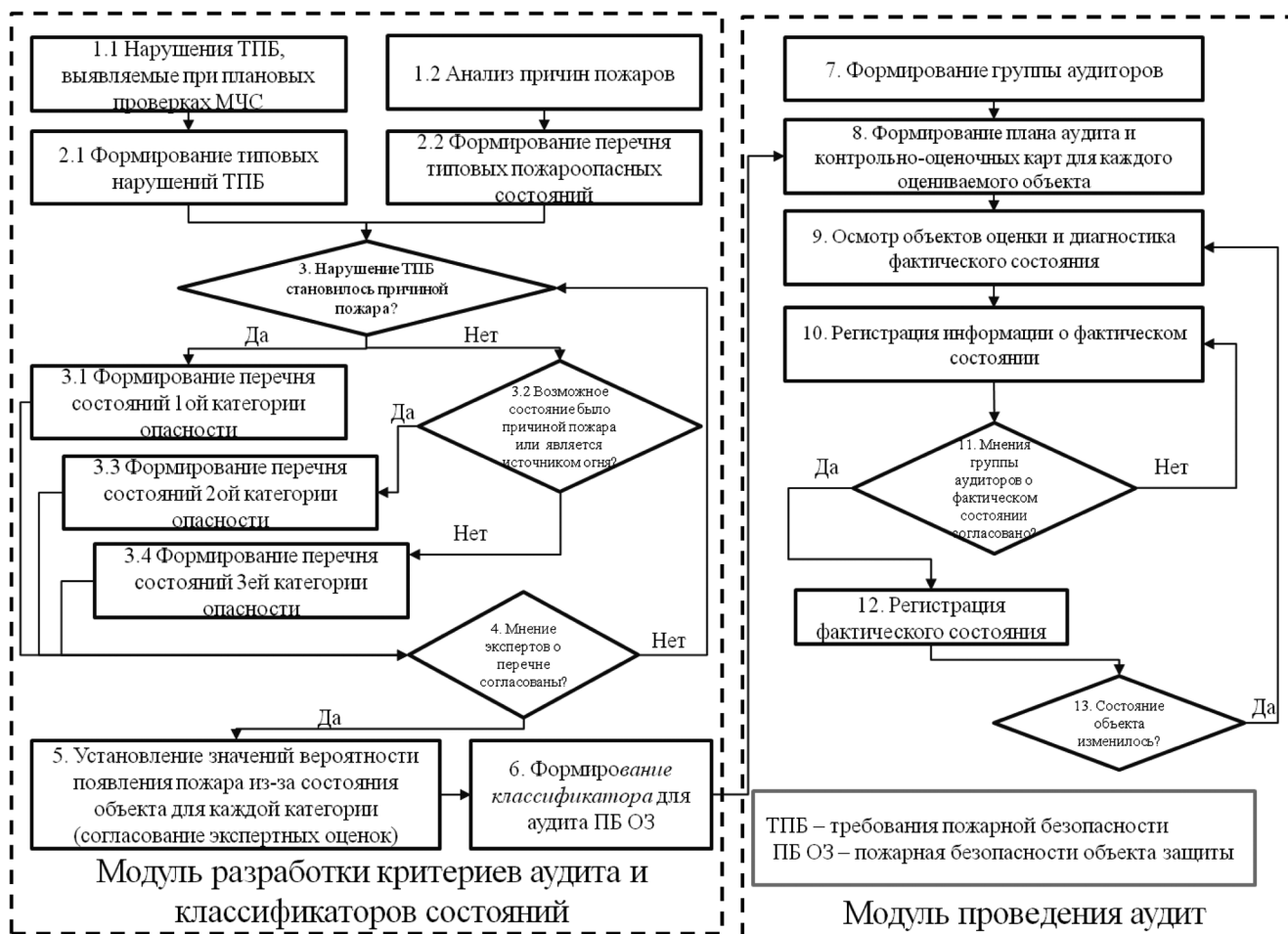


Рисунок 2 – Алгоритм диагностирования неисправностей объектов ЖДТ, приводящих к повышению пожарной опасности объектов ЖДТ

позволяющих оперативно выводить эксперту перечень критериев аудита для конкретной технической системы, регистрировать фактически выявленные состояния, а также использовать инструменты диагностики.

Для проведения автоматизированного аудита необходимо два модуля: модуль разработки критериев аудита и классификаторов состояний объектов ЖДТ, модуль проведения аудита. Совместная работа этих модулей позволяет реализовать алгоритм диагностирования неисправностей объектов ЖДТ, приводящих к повышению пожарной опасности объектов (рис. 2).

В рамках модуля разработки критериев аудита и классификаторов состояния должны быть реализованы следующие действия:

Анализ первоисточников о причинах пожара и результатов проверок МЧС: составление перечня нарушений требований пожарной безопасности, выявляемые при плановых проверках МЧС, составление перечня причин пожаров.

Формирование перечня типовых пожароопасных состояний: анализ статистики нарушений требований пожарной безопасности и формирование перечня типовых нарушений, анализ причин пожаров и формирование перечня типовых пожароопасных состояний.

Ранжирование типовых пожароопасных состояний:

- формирование перечня пожароопасных состояний 1 категории опасности (состояния, которые становились причинами пожара);
- формирование перечня пожароопасных состояний 2 категории опасности (состояния, которые приводили к появлению причины пожара или состояния объектов, которые по статистике были источниками огня);
- формирование перечня пожароопасных состояний 3 категории опасности (прочие состояния).

Согласование мнений экспертов о результатах ранжирования пожароопасных состояний.

Количественная оценка опасности состояний 1 категории:

- для целей оценки вероятности появления пожара с помощью графового метода строится граф и матрица переходных вероятностей;
- для оценки вероятности появления пожара на основе экспертного метода для каждого состояния оценивается вероятность появления пожароопасного событий.

Формирование классификатора пожароопасных состояний для аудита пожарной безопасности объекта ЖДТ. Классификатор содержит в себе перечень всех возможных состояний объекта ЖДТ (с учетом конфигу-

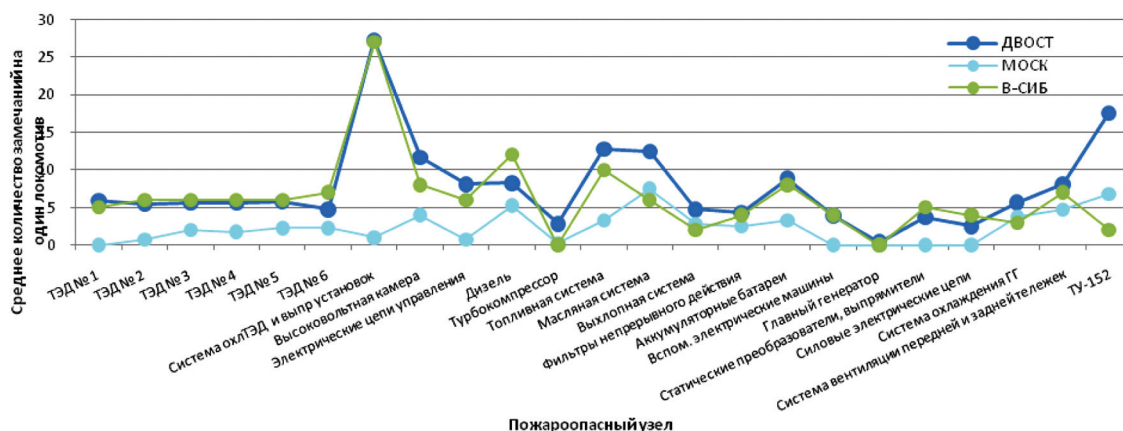


Рисунок 3 – Статистика выявления пожароопасных состояний на ТПС серии 3ТЭ10

рации объекта). В классификаторе при необходимости указываются инструменты, с помощью которых можно выявить пожароопасные состояния. На основе сформированных классификаторов функционирует модуль проведения аудита, в рамках которого осуществляется:

- формирование группы аудиторов, квалифицированных для выявления состояния пожарной опасности на объекте ЖДТ;
- формирование плана аудита и контрольно-оценочных карт (КОК) для каждого оцениваемого объекта. План аудита описывает последовательность осмотра объекта ЖДТ. КОК содержат в себя перечень пожароопасных

состояний, которые могут наблюдаться на оцениваемом объекте. При этом КОК содержит поля для отметки наличия фактического состояния.

Осмотр объекта, выбор инструментов диагностики, сбор данных о фактическом состоянии.

Регистрация информации о фактическом состоянии.

Согласование мнения аудиторов о перечне выявленных пожароопасных состояний

Регистрация фактического состояния объекта.

Актуализация результатов аудита при изменении состояния объекта.

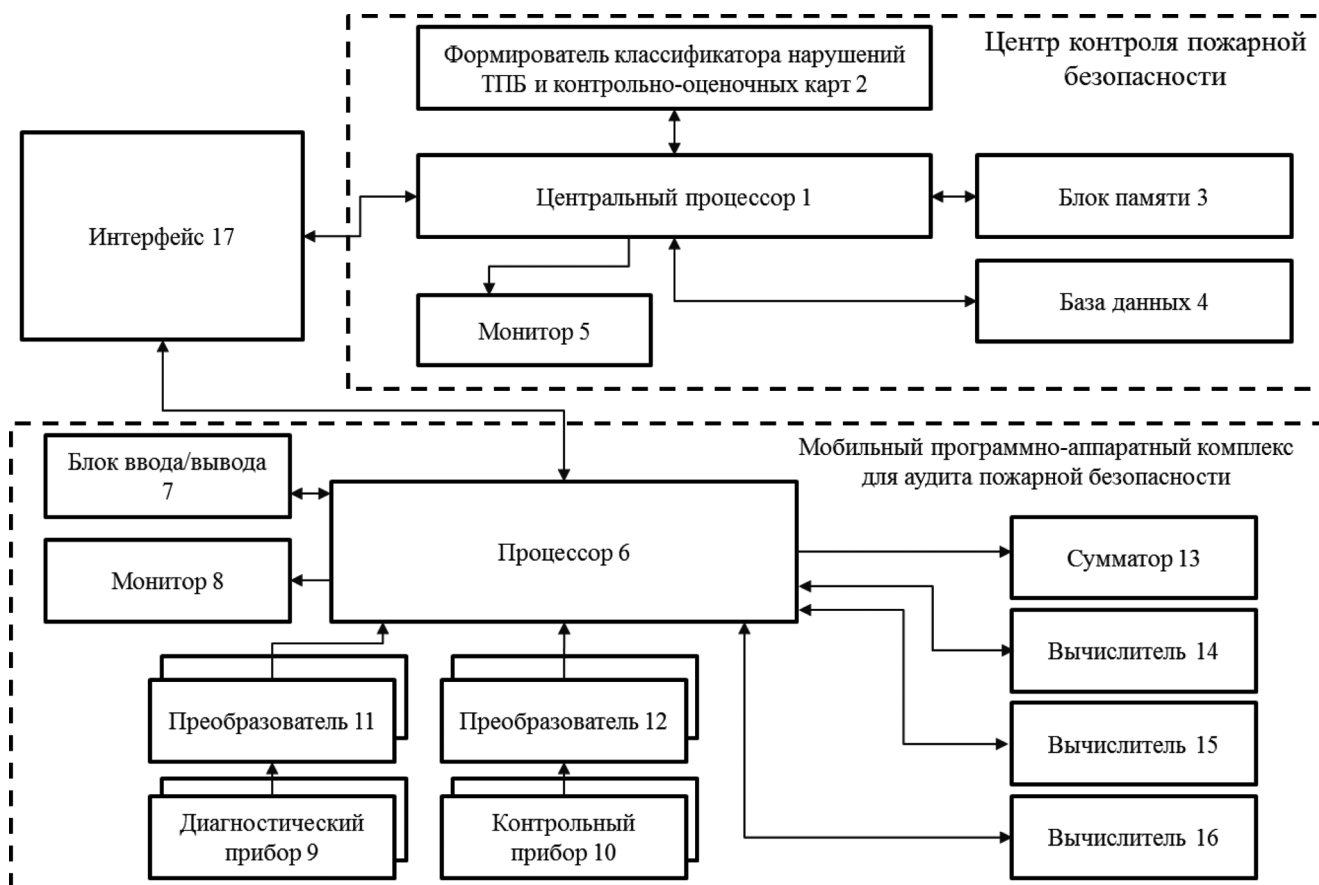


Рисунок 4 – Схема реализации способа оценки пожарного риска объектов железнодорожного транспорта

Алгоритм, приведенный на рисунке 2, итеративно повторяется для каждого объекта, пожароопасное состояние которого необходимо оценить. В период весеннего комиссионного осмотра 2018 года в эксплуатационных депо Дальневосточной дирекции тяги на 221 единице тягового подвижного состава было выявленного 9761 пожароопасное состояние на тепловозах серии ТЭ10. На рисунке 3 приведена информация о количестве пожароопасных состояний, выявленных при проведении аудита пожарной безопасности, тепловозов серии 3ТЭ10 в Дальневосточной (ДВОСТ), Московской (МОСК), Восточно-Сибирской (В-СИБ) дирекциях тяги.

3. Структура автоматизированной системы диагностирования и прогнозирования пожарной безопасности объектов железнодорожного транспорта

Математическая обработка результатов диагностирования неисправностей объектов ЖДТ, приводящих к повышению их пожарной опасности, рассмотрена в работах [17, 18]. Результатом такой обработки является прогнозирование пожарного риска каждого оцениваемого объекта ЖДТ и принятие решения о его допуске в эксплуатацию. Для проведения системных мероприятий по управлению рисками большого количества объектов необходима автоматизированная система управления (АСУ) пожарными рисками. Такая АСУ должна разрабатываться с учетом территориально распределенной системы управления железнодорожным транспортом. Эффективной будет следующая структура АСУ пожарными рисками на железнодорожном транспорте:

1) Центр контроля пожарной безопасности, в который будет поступать информация о статистике пожаров (в т.ч. путем интеграции с существующими в ОАО «РЖД» АСУ). В рамках этого центра должен функционировать модуль разработки критериев аудита и классификаторов состояний.

2) Мобильный программно-аппаратный комплекс для аудита пожарной безопасности, с помощью которого на основании полученных из центра контроля пожарной безопасности данных функционирует модуль проведения аудита.

Так как для обследования каждого объекта необходим визуальный контроль, то оптимальным будет использование мобильных систем регистрации состояния. В настоящее время большинство датчиков, используемых для диагностики фактического состояния объектов (датчики давления, масла, тепловизоры и т.п.) не объединены в единую сеть, поэтому показания с каждого датчика необходимо снимать отдельно. Это еще один аргумент в пользу мобильных систем. На рисунке 4 изображена схема реализации указанного способа оценки пожарного риска объектов железнодорожного транспорта.

Центр контроля пожарной безопасности включает в себя центральный процессор 1, входы / выходы которого подключены непосредственно к выходам / входам формирователя 2 контрольно-оценочных карт (модуль разработки критериев аудита и классификаторов состояний), блока 3 памяти и базы 4 данных, а также монитор 5. Мобильный программно-аппаратный комплекс (МПАК) для аудита пожарной безопасности включает процессор 6 с блоком 7 ввода / вывода и монитором 8, средства диагностики в виде соответствующих контрольно-диагностических комплексов 9 и контрольных приборов 10, преобразователи 11 и 12, последовательно соединенные сумматор 13, первый, второй и третий вычислители 14, 15 и 16, выход последнего из которых подключен к входу процессора 6. Выходы процессора 6 соединены с сумматором 13 и интерфейсом 17 связи для взаимодействия процессора 6 с центральным процессором 1.

При этом выход каждого контрольно-диагностического комплекса 9 и контрольного прибора 10 через соответствующий преобразователь 11 и 12 подключен к входу процессора 6, другие входы / выходы которого соединены с выходами / входами вычислителей 14 и 15.

После расчета пожарного риска на основании внесенных в МПАК данных о состояниях пожарной опасности, разрабатывается план их устранения с учетом уровней риска, которые образуют эти состояния. В случае если объект защиты допускается к эксплуатации с ограничениями, то устранение пожароопасных состояний осуществляется в рамках планового ТОиР. Если объект не допускается к эксплуатации, то осуществляется его внеплановый ремонт.

Заключение

В настоящей работе рассмотрена проблема диагностирования состояний пожарной опасности объектов ЖДТ, предшествующих горению. Показана важность разработки проактивной системы управления пожарной безопасностью на основе оценки пожарных рисков. Определено, что источниками информации о состояниях, предшествующих горению объектов ЖДТ могут быть как существующие автоматизированные системы учета отказов, оценки рисков, так и результаты диагностики фактического состояния объектов в рамках планово-предупредительных ремонтов.

Для выбора параметров фактических состояний объектов предложен алгоритм диагностирования неисправностей объектов ЖДТ, приводящих к повышению их пожарной опасности с учетом участия в диагностике группы экспертов. Для системного управления пожарными рисками множества объектов ЖДТ предложен способ автоматизированной оценки пожарного риска. С учетом необходимости визуального осмотра объектов ЖДТ, в т.ч. регистрации показания территориально распределенных датчиков, предложен мобильный программно-аппаратный комплекс для аудита пожарной безопасности объектов.

Библиографический список

1. Здор, В.Л. Пожарная сигнализация [Текст] / В.Л. Здор, М.А. Землемеров, К.А. Попонин, И.В. Рыбаков // Пожарная безопасность. – 2012. – № 2. – С. 41-49. – ISSN 0236-4468.
2. Шубинский, И.Б. Методы обеспечения функциональной надежности программ [Текст] / И.Б. Шубинский // Надежность. – 2014. – № 4. – С. 87-101.
3. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования [Текст]: Свод правил: Утв. приказом МЧС РФ от 25 марта 2009 г. № 175.
4. Киракосян, Р.С. Мультикритериальные и мультисенсорные пожарные извещатели [Текст] / Р.С. Киракосян, П.В. Капустин, А.А. Легейда, Т.А. Буцынская // Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (Материалы V Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов). – 2017г. – С. 130-132.
5. Thomas, I.R. Effectiveness of Fire Safety Components and Systems [Text] / I.R. Thomas // Journal of Fire Protection Engineering, Society of Fire Protection Engineers. – May 2002. – Vol. 12. – No. 2. – P. 151-162.
6. Milke, J. Effectiveness and Reliability of Fire Protection Systems [Text] / James A. Milke // Protection Engineering magazine. – 2014. – Vol 64. – P. 44-52.
7. Кучера, Л.Я. Анализ надежности автоматизированных систем обеспечения пожарной безопасности [Текст] / Л.Я. Кучера, М.В. Иванникова // Инновационные научные исследования: теория, методология, практика: Сборник статей VIII международной научно-практической конференции: в 2 частях. – 2017. – С 57- 61.
8. Похабов, Ю.П. Обеспечение надежности уникальных высокоответственных систем [Текст] / Ю.П. Похабов // Надежность. – 2017. – № 17(3). – С. 17-23.
9. Шубинский, И.Б. Систематический подход к защите программного обеспечения от сбоев аппаратуры [Текст] / И.Б. Шубинский, Х. Шебе // Надежность. – 2014. – № 3. – С. 97-107.
10. Петрова, Д.А. Анализ и моделирование технологических и производственных процессов при наступлении чрезвычайных ситуаций на примере системы пожарной сигнализации [Текст] / Д.А. Петрова // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (cad/cam/pdm – 2016): труды XVI-ой международной молодежной конференции. – 2016. – С. 291-293.
11. Лебедева, М.И. Комплекс технических средств автоматизированной системы управления противопожарной защитой технологической установки первичной переработки нефти [Текст] / М.И. Лебедева, А.В. Федоров, Е.Н. Ломаев, А.В. Богданов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2015. – № 2. – С. 20-25.
12. Федоров, А.В. Автоматизация систем противопожарной защиты технологических процессов обеспечения функционирования спортивных сооружений [Текст] / А.В. Федоров, Е.Н. Ломаев, Ф.В. Демехин // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 2(60). – С. 49-55.
13. Галиакбаров, В.Ф. Построение интеллектуальной системы обнаружения несанкционированных скачков давления в магистральных трубопроводах для поддержания промышленной и пожарной безопасности [Текст] / В.Ф. Галиакбаров, В.Д. Ковшов, Э.В. Галиакбарова, З.М. Нагаева // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефтепродуктов: науч.–техн. журн. – 2015. – № 2. – С. 188-195.
14. Белозеров, В.В. Метод и автоматизированный комплекс обнаружения, предотвращения и тушения торфяных пожаров [Электронный ресурс] / В.В. Белозеров, А.А. Нестеров, Ю.Г. Плахотников, Ю.В. Прус // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». – 2010. – № 5(33). – URL: <http://ipb.mos.ru/ttb/> (дата обращения 30.03.2018)
15. Замышляев, А.М. Совершенствование системы управления содержанием эксплуатационной инфраструктуры с применением современных информационных технологий [Текст] / А.М. Замышляев, Г.Б. Прошин // Надежность. – 2009. – № 4(31). – С. 14-22.
16. Гапанович, В.А. Математическое и информационное обеспечение системы УРРАН [Текст] / В.А. Гапанович, А.М. Замышляев, И.Б. Шубинский // Надежность. – 2013. – № 1. – С. 3-11.
17. Шубинский, И.Б. Графовый метод оценки производственной безопасности на объектах железнодорожного транспорта [Текст] / И.Б. Шубинский, А.М. Замышляев, О.Б. Проневич // Надежность. – 2017. – Т. 17. – № 1(60). – С. 40-45.
18. Гапанович, В.А. Оценка пожарных рисков тягового подвижного состава в условиях неполной информации [Текст] / В.А. Гапанович, О.Б. Проневич // Железнодорожный транспорт. – 2016. – № 11. – С. 58-63.

Сведения об авторах

Ольга Б. Проневич – начальник отдела АО «НИИ-АС», Москва, Россия, e-mail: o.pronevich@vnias.ru

Игорь Б. Шубинский – доктор технических наук, профессор, заместитель руководителя НТК АО «НИИ-АС», Москва, Россия, тел. +7 (495) 786-68-57, e-mail: igor-shubinsky@yandex.ru

Поступила: 01.10.2018