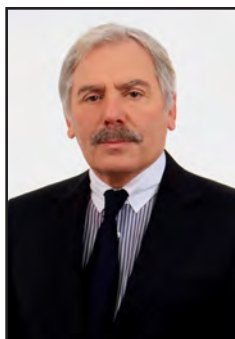




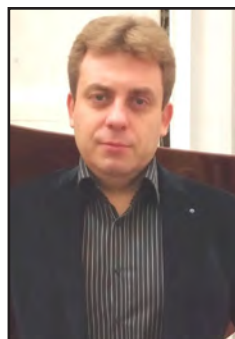
Система дистанционного мониторинга технических объектов



Анатолий КОРОТКИЙ



Александр ДЕМЬЯНОВ



Алексей ДЕМЬЯНОВ

Короткий Анатолий Аркадьевич — Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия.

Демьянов Александр Анатольевич — Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия.

Демьянов Алексей Александрович — Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия*.

В настоящее время цифровизация, внедряемая во все сферы деятельности человека, включая и транспортные процессы, требует оперативности в получении и обработке информации, а также своевременности принимаемых на её основе решений. Современная система эксплуатации железнодорожного тягового подвижного состава характеризуется отсутствием онлайн-информации о текущем техническом состоянии и остаточном ресурсе его составных частей для принятия решения.

В статье предлагается решать проблему посредством внедрения в сферу эксплуатации тягового подвижного состава адаптивной системы дистанционного онлайн-мониторинга технических параметров эксплуатируемых объектов. Адаптивная система содержит программное обеспечение, относящееся к рекомендательным системам принятия решений. Отличительной чертой системы является наличие элементов искусственного интеллекта, который самообучается путём комбинаторной обработки исторической базы данных об эксплуатации данного или аналогичного технического объекта и соответствующих им текущих эксплуатационных показателей.

Предлагаемый алгоритм обработки информации отличается универсальностью и в принципе может работать с разно-

образными источниками данных, в том числе и с существующими устройствами безопасности тягового подвижного состава. Онлайн-мониторинг технических параметров эксплуатируемых объектов может быть распространён и на грузопассажирский подвижной состав, и на сопутствующие вспомогательные устройства (путевые машины, краны, горочные замедлители и т.д.).

На основе анализа получаемой информации программное обеспечение формирует и передаёт рекомендации по текущим неотложным действиям для руководящих работников и обслуживающего персонала.

Кроме того, предлагаемая технология даёт возможность предсказывать признаки аварийности эксплуатируемых объектов в режиме реального времени, что позволяет облегчить процесс диагностики и оптимизировать организацию технического обслуживания, снизить себестоимость содержания подвижного состава, повысить безопасность перевозочного процесса.

Рассматриваемая в статье адаптивная система дистанционного онлайн-мониторинга эксплуатационной безопасности технических объектов на основе риск-ориентированного подхода является уникальной разработкой, не имеющей аналогов.

Ключевые слова: железная дорога, дистанционный мониторинг, искусственный интеллект, безопасность, прогнозирование риска, локомотивы.

Информация об авторах:

Короткий Анатолий Аркадьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации транспортных систем и логистики Донского государственного технического университета, Ростов-на-Дону, Россия, korot@novoch.ru

Демьянов Александр Анатольевич – доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации транспортных систем и логистики Донского государственного технического университета, Ростов-на-Дону, Россия, a11exandr@yandex.ru

Демьянов Алексей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации транспортных систем и логистики Донского государственного технического университета, Ростов-на-Дону, Россия, alexys61@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 23.07.2020, принята к публикации 23.10.2020.

For the English text of the article please see p. 116.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ материалов, определяющих стратегические перспективы развития мировой отрасли железнодорожного транспорта, показывает, что при прочих равных условиях ключевым трендом является создание «цифровой железной дороги» [1–3]. Однако процесс перехода к безлюдной технологии должен быть поэтапным, путём эволюционного исключения человека из участия в процессе диагностирования и последующего принятия субъективного решения. При этом необходимо учитывать, что ключевой подсистемой в структуре железных дорог является подвижной состав в целом и тяговый подвижной состав в частности.

Так, например, стратегия научно-технического развития холдинга РЖД включает в приоритетных направлениях разделы, связанные с цифровой трансформацией холдинга, то есть с созданием «цифровой железной дороги» на основе методов искусственного интеллекта при общей направленности на использование российских программных и аппаратных средств [4; 5].

Что касается тягового подвижного состава, то в контексте этой стратегии сформулированы требования к нему как объекту цифровой железной дороги, заключающиеся в реализации технологии «умный локомотив». Причём при реализации онлайн-технологии должны быть созданы условия, позволяющие аккумулировать и анализировать значительные информационные массивы, передаваемые от объектов инфраструктуры и локомотива. Всё это, в свою очередь, должно создавать возможность оперативного принятия решений по эксплуатации тягового подвижного состава и технологического оборудования [4].

Однако, реализация онлайн-железнодорожных технологий как в Российской Федерации, так и за рубежом связана с решением целого ряда проблем, основные тенденции преодоления которых были сформулированы в материалах ОАО «РЖД» [6]. Эти выводы можно дополнить анализом систем обслуживания локомотивов, выполненным авторами [7].

В настоящее время в области эксплуатации и ремонта тягового подвижного состава ОАО «РЖД» на уровне производственных участков сложилась ситуация, связанная

с несвоевременностью получения информации о техническом состоянии, прогнозируемых неисправностях и остаточном ресурсе составных частей устройств безопасности локомотивов при его постановке на плановое техническое обслуживание и ремонт [6].

Это объясняется тем, что основным средством для обеспечения безопасности движения поездов на сети железных дорог России и стран СНГ являются комплексные или локальные локомотивные устройства безопасности, например, «БОРТ», «КЛУБ», «САУТ», «БЛОК» и т.д. Такие устройства устанавливаются на локомотиве и выполняют следующие основные функции:

- приём по маршруту следования информации об ограничениях скорости;
- определение по сигналам навигационных систем координат текущего нахождения подвижного состава;
- непрерывный контроль скоростных параметров локомотива и осуществление экстренного торможения при необходимости;
- приём информации о сигналах путевых светофоров с исключением проезда на запрещающий;
- исключение неуправляемого движения локомотива;
- контроль работоспособности машиниста и т.д.

В большинстве случаев регистрируемые параметры работы локомотива в процессе эксплуатации записываются на съёмный носитель информации, который по окончании поездки сдаётся в отдел расшифровки эксплуатационного локомотивного депо своей приписки. После расшифровки данных выявленные замечания вносятся в автоматизированную систему нарушений безопасности движения, на что уходит от 3-х до 5-ти суток, и после поступают специалистам производственных участков, формирующим информацию для исполнительного персонала о необходимости дополнительной проверки узлов и агрегатов локомотива [6].

Очевидно, что такой подход не позволяет оперативно отслеживать нарушения в нормальной работе узлов тягового подвижного состава и заблаговременно устранять причины вероятного отказа. Фактически получается, что на техническое обслужива-



живание и ремонт тяговый подвижной состав направляется после зафиксированного отказа в работе узлов, а не заблаговременно, до его возникновения.

В таких условиях риск возникновения отказов технических средств локомотива сопровождается рисками ущерба от задержек движения поездов, а при возникновении отказа на маршруте последствия могут быть и более серьёзными.

Анализ сложившейся ситуации с учётом требований [6] позволяет выделить основные признаки потенциального решения сложившейся проблемы онлайн-мониторинга:

- сокращение времени на выявление, устранение и расследование причин сбоев в работе устройств безопасности;
- прогнозирование вероятности отказа конкретного узла или детали в зависимости от его текущего технического состояния;
- обеспечение требований безопасности движения поездов за счёт предупреждения выхода на линию тягового подвижного состава с потенциально неисправными устройствами;
- снижение количества отказов и сбоев в работе локомотивных узлов и устройств безопасности за счёт их превентивного обслуживания;
- автоматизация процесса сбора и анализа полученных с подвижного состава данных с последующим формированием рекомендательных решений для обслуживающего персонала.

Таким образом, сущность решаемой проблемы применительно к тяговому подвижному составу состоит в повышении безопасности движения за счёт прогнозируемой вероятности предотказного состояния узлов локомотива, оценки риска его дальнейшей эксплуатации и генерации рекомендуемых действий по его техническому обслуживанию.

Исходя из вышесказанного, процесс поиска рационального решения, очевидно, должен происходить при следующих ограничениях:

- оборудование должно устанавливаться на тяговом подвижном составе и обеспечивать непрерывную диагностику его состояния;
- программное обеспечение должно быть совместимо с существующими систе-

мами контроля тягового состава и автоматизированными системами транспортной компании, собирающими и обрабатывающими техническую информацию о подвижном составе;

- тяговый подвижной состав должен быть оборудован сенсорами;
- внедрение *онлайн-мониторинга* не должно приводить к увеличению численности обслуживающего персонала или трудоёмкости обслуживания;
- в сложившихся макроэкономических условиях предлагаемое оборудование должно обладать высокой конкурентоспособностью.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для решения вышеописанной проблемы предлагается адаптивная система, позволяющая на основе риск-ориентированного подхода и IT-технологий осуществлять дистанционный мониторинг эксплуатационной безопасности технических объектов [8–11] и состоящая из аппаратной и программной частей, которые позволяют в режиме реального времени собирать в единую базу информацию:

- о текущих эксплуатационных параметрах объекта;
- об остаточном ресурсе составных частей объекта;
- о состоянии локальных систем безопасности самого объекта;
- о вероятности развития аварийных ситуаций.

Предлагаемое программное обеспечение относится к рекомендательным системам принятия решений при управлении техническими объектами и обладает элементами искусственного интеллекта, который самообучается путём комбинаторного взаимодействия исторической базы данных об эксплуатации данного (или аналогичного) технического объекта (включая признаки аварийности) и соответствующих им текущих эксплуатационных показателей. Следует отметить, что алгоритм расчёта риска аварий динамически корректируется.

На основе анализа получаемой информации программное обеспечение формирует и передаёт рекомендации к текущим неотложным действиям для руководящих работников и обслуживающего персонала

в виде приложений на их стационарные и мобильные устройства.

Всё это в приложении к тяговому подвижному составу позволяет в режиме реального времени:

- дистанционно формировать план мероприятий по техническому обслуживанию подвижного состава в зависимости от его текущего состояния;
- проводить ежедневную лингвистическую проверку работоспособности всех контролируемых систем подвижного состава и передавать информацию в базу данных соответствующей службы и на мобильные устройства машинистов, диспетчеров и представителей управляющего звена с возможностью визуализации в виде шкалы цветовых индикаторов;
- формировать в автоматическом режиме рекомендации по оценке вероятности аварий подвижного состава в зависимости от его текущего состояния, с передачей в соответствующие службы организации;
- собирать сведения о нарушении требований нормативных документов обслуживающим персоналом, предусмотренных должностными и производственными инструкциями, с передачей на мобильные и стационарные устройства соответствующих служб, машинистов, диспетчеров и представителей управляющего звена;
- обрабатывать информацию с существующих и дополнительно устанавливаемых на подвижной состав сенсоров.

Алгоритм и комплекс критериев, характеризующих уровень безопасности объекта во времени, адаптируются к базам данных, обновляющимися в соответствии с выявленными причинами аварий и инцидентов при эксплуатации других объектов. Иными словами, реализуется интеллектуальная система, позволяющая осуществить переход из неструктурированного многомерного нечёткого пространства показателей, характеризующих текущее состояние безопасности объекта, к одному интегральному показателю в виде цветовой гаммы [9–12].

Пределы отклонения текущих интегральных показателей от их «оптимальных» значений разбивают, например, на три области по прогнозируемой величине u и риска аварии, используя шкалу цветных индикаторов. Если значения текущих показателей изменяются в области оптималь-

Таблица 1

Оценка риска аварии при эксплуатации объекта	Индикаторы риска	
Допустимый уровень риска – обычный режим эксплуатации (зелёный)		$u \leq u_{\min}$
Повышенный уровень риска – режим эксплуатации при повышенном контроле (жёлтый)		$u_{\min} < u < u_{\max}$
Высокий уровень риска – эксплуатация запрещена (красный)		$u > u_{\max}$

ных значений, прогнозируемая величина индикатора риска перемещается в жёлтую зону ($u_{\max} < u < u_{\min}$), при достижении аварийных значений – в красную ($u > u_{\min}$) и соответственно в зелёную при отсутствии риска аварии $u \leq u_{\min}$. Шкала индикаторов приведена в табл. 1.

К этому следует добавить, что поскольку охватить сенсорами контроля весь комплекс диагностических параметров, характеризующих эксплуатационную безопасность технических объектов, не представляется возможным, то при лингвистической диагностике ключевым фактором становится использование человеческого интеллекта, то есть учитываются знания, умения, навыки и опыт обслуживающего и контролирующего персонала [9–12]. Разработанные мероприятия обеспечивают возможность сравнивать текущую информацию о состоянии выбранного объекта с данными об аварийных ситуациях на аналогичных объектах, а также с изменениями, внесёнными в нормативную документацию.

Таким образом, особенностью предлагаемой системы является способность интегрировать антропоморфные и машинные процессы сбора и обработки информации в режиме реального времени с использованием набора алгоритмов на базе нейронных сетей, то есть с применением технологий искусственного интеллекта. Основным результатом работы системы является сбор и анализ всей доступной информации с оценкой рисков и формированием информационно-рекомендательного сопровождения принятия решения оператором [8–12].

Разработанная адаптивная система дистанционного мониторинга отличается универсальностью и может применяться





Рис. 1. Схема взаимодействия программной и аппаратной частей рекомендательной системы безопасности в локомотиве:
 1 – локомотив, оснащённый системой КЛУБ;
 2 – база данных; 3 – центральный сервер;
 4 – веб-сайт; 5 – программное Web-приложение;
 6 – результаты оценки риска в цветовой гамме; 7 – локомотивная бригада (машинист-инструктор); 8 – инспектор-приёмщик ЦТ ОАО «РЖД»; 9 – заводской инспектор ЦТА ОАО «РЖД»; 10 – ревизоры региональной и центральной структуры ОАО «РЖД».

в широком спектре промышленных объектов, включая транспорт: канатный, автомобильный, водный, воздушный и железнодорожный [13; 14].

Применительно к тяговому подвижному составу система может использоваться совместно с широко применяемыми в настоящее время системами безопасности, например, «БОРТ», «КЛУБ», «САУТ», «БЛОК» и т.д.

К основным результатам обучения нейронных сетей на основе предложенной технологии с использованием лингвистических и функциональных критериев диагностирования в локомотиву, оборудованному, например, системой «КЛУБ» [15], можно отнести:

- повышение достоверности дистанционного контроля;
- повышение качества и своевременности формирования рекомендаций по техническому обслуживанию;
- оптимизацию процесса технического обслуживания за счёт прогнозирования сроков и трудоёмкости планируемых работ по обслуживанию локомотивов;
- общее снижение аварийности при эксплуатации;
- сокращение численности персонала и инспекторского состава и, как следствие, расходов на их содержание.

Предлагаемая технология позволит обеспечить распознавание аварийных факторов, связанных с контролем скоростного режима, самопроизвольным движением, индикацией сигналов светофоров и т.д., применительно к различным режи-

мам движения (трогание с места, движение по магистрали, маневровый режим, буксование и т.д.), и прочими показаниями приборов безопасности, штатно устанавливаемых на локомотивы. На рис. 1 схематично изображено взаимодействие структурных составляющих предлагаемой адаптивной системы безопасности, содержащей аппаратную и программную части.

Такой подход позволяет реализовать дистанционный мониторинг устройств локомотива с использованием мобильных приложений, путём постоянного обучения нейронной сети по историческим данным приборов комплекса «КЛУБ», с учётом динамики изменения этих данных в процессе эксплуатации.

Таким образом, применительно к тяговому подвижному составу, предлагаемый концептуальный подход может быть реализован для сбора и анализа оперативной информации о текущем и предсказанных состояниях составных частей локомотива, а также для оценки риска их дальнейшей эксплуатации, в том числе рекомендуемых действий по их техническому обслуживанию. Например, локомотивная бригада с использованием лингвистических и функциональных критериев диагностики, согласно инструкции (распоряжение № 2070/р) [16], может оценить состояние электровоза в рамках технического обслуживания ТО-1 при приёмке, а именно:

- проверить установку элементов тормозной и демпфирующей систем;
- осмотреть затяжку резьбовых соединений в предохранительных устройствах;
- проверить наличие смазки на трущихся поверхностях;
- проверить работу пантографа;
- осмотреть состояние тягового электродвигателя и вспомогательных систем;
- проверить работу осветительных и звуковых устройств;
- проверить наличие песка и работу устройств пескоподдачи;
- проверить уровень масла в тяговом трансформаторе;
- проверить правильность показания рабочих и аварийных приборов;
- проверить работу аккумуляторной батареи;
- и т.д.

При этом результаты проверки в режиме реального времени будут обрабатываться и передаваться в базу данных центрального сервера системы через сеть Интернет.

Исходя из вышесказанного, можно говорить о возможности использования такого подхода в приложении к пассажирским вагонам, мотор-вагонному подвижному составу, тяжёлым путевым машинам, горочным замедлителям и т.д.

Предложенная технология апробирована в Кавказском управлении Ростехнадзора при проведении комплексных мероприятий, связанных с предупреждением внештатных ситуаций на объектах второго и третьего классов опасности и, в частности, при контроле над системой безопасности на башенном кране КБ-408.21. Кран был установлен в индустриальном парке ООО «Мастер», принадлежащем корпорации ПАО «КамАЗ». Таким образом, эта технология была апробирована на технических объектах, имеющих разное функциональное назначение и конструктивное исполнение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассматриваемая в статье адаптивная система дистанционного мониторинга эксплуатационной безопасности технических объектов на основе риск-ориентированного подхода является уникальной российской разработкой, не имеющей аналогов [8].

Универсальность данной технологии контроля позволяет обрабатывать по заданному алгоритму данные, поступающие от широкого спектра промышленных объектов.

Применительно к тяговому подвижному составу предлагаемая технология машинного обучения позволит повысить фактическую безопасность движения за счёт повышения уровня прогнозирования вероятности отказа его узлов, оценки риска его дальнейшей эксплуатации и генерации рекомендуемых действий по его техническому обслуживанию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гапанович В. Цифровая железная дорога: настоящее и будущее – Гудок, выпуск № 152 (26057). [Электронный ресурс]: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1348652>. Доступ 21.09.2020.

2. Розенберг Е. Н. Развитие цифровых систем управления и обеспечения безопасности движения поездов. Евразия Вести. – XII, 2018. [Электронный ресурс]: <http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2018-12a08>. Доступ 21.09.2020.

3. Безопасность железных дорог из открытых источников. [Электронный ресурс]: <https://habr.com/ru/company/dsec/blog/306182/>. Доступ 21.09.2020.

4. Стратегия научно-технического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и перспективу до 2030 года (Белая книга), утверждённая распоряжением ОАО «РЖД» № 769/р от 17.04.2018 г. [Электронный ресурс]: https://zszd.rzd.ru/dbmm/download?vp=17&load=y&col_id=121&id=18071. Доступ 21.09.2020.

5. Чаркин Е. Стратегия цифровой трансформации РЖД. [Электронный ресурс]: <https://www.tadviser.ru/index.php>. Доступ 21.09.2020.

6. Единое окно инноваций РЖД. [Электронный ресурс]: <https://innovation.rzd.ru/Ex/Claim/View/106>. Доступ 21.09.2020.

7. Осяев А. Т., Никифоров В. Л. О системе обслуживания локомотивов за рубежом // Вестник ВНИИЖТ. – 2012. – № 5. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18028384>. Доступ 21.09.2020.

8. Лагерева А. В., Кинжибалов А. А., Панфилов А. В., Короткий А. А. и др. Пат. № 2682020 РФ. Способ дистанционного контроля безопасности при эксплуатации объекта на базе цифровых информационно-технологических систем / Оpubл. 14.03.2019 г., бюл. № 8.

9. Дерюшев В. В., Сидельникова Е. Г. Обобщённый показатель достаточности для оценивания технического состояния строительной и подъёмно-транспортной техники // Научное обозрение. – 2013. – № 9. – С. 164–167.

10. Арташесян А. А. Алгоритм машинного обучения на основе анализа малых выборок. Материалы междунар. науч.-технич. конф. «Строительство и архитектура». – Ростов н/Д: Донской государственный технический университет, 2017. – С. 82–86.

11. Дерюшев В. В., Сидельникова Е. Г. Определение номенклатуры показателей качества строительного и подъёмно-транспортного оборудования // Научное обозрение. – 2014. – № 11–3. – С. 775–777.

12. Панфилов А. В., Дерюшев В. В., Короткий А. А. Рекомендательные системы безопасности для риск-ориентированного подхода // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 5. – С. 48–55.

13. Короткий А. А., Лагерева А. В., Месхи Б. Ч., Лагерева И. А., Панфилов А. В. Развитие транспортной инфраструктуры крупных городов и территорий на основе технологии канатного метро: Монография. – Ростов н/Д, изд-во ДГТУ, 2017. – 344 с.

14. Трёмбицкий А. В., Дубровин В. В., Печёркин А. С., Короткий А. А., Иванченко А. Н., Панфилов А. В., Масленников А. А. Применение средств радиочастотной идентификации для повышения уровня промышленной безопасности опасных производственных объектов // Безопасность труда в промышленности. – 2014. – № 9. – С. 68–72.

15. Комплексное локомотивное устройство безопасности КЛУБ-У. [Электронный ресурс]: <https://www.irz.ru/products/20/70.htm>. Доступ 21.09.2020.

16. Распоряжение ОАО «РЖД» от 21 сентября 2018 года N2070/р «О внесении изменений в распоряжения ОАО «РЖД» от 11 августа 2016 года № 1651р и от 30 декабря 2016 года № 2796р и признании утратившими силу некоторых документов ОАО «РЖД». [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/551490971>. Доступ 21.09.2020.

