



Ю. А. Давыдов, А. К. Пляскин, А. С. Кушнирук

Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, Российская Федерация

Дата поступления: 01 октября 2018

## КОНТРОЛЬ ФАКТИЧЕСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛОКОМОТИВОВ НА ОСНОВЕ ДИАГНОСТИКИ

**Аннотация.** Согласно стратегии развития холдинга «РЖД» до 2030 года, на сети железных дорог планируется переход от планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта тягового подвижного состава на обслуживание и ремонт локомотивного парка в соответствии с фактическим техническим состоянием тягового подвижного состава. Для реализации данного реформирования необходима организация непрерывного мониторинга технического состояния локомотивов.

Коллективом кафедры «Локомотивы» ДВГУПС в течение многих лет проводились прикладные исследования в области создания систем контроля состояния сложных объектов. Технологии мониторинга, построенные с применением комплексных решений на основе диагностики и обработки получаемых результатов, позволяют систематизировать и поэтапно представить процесс формирования решений по контролю параметров локомотивов и объектов транспортной инфраструктуры. Основным средством стабильного снятия параметров работы тягового подвижного состава является низовая автоматика и системы определения состояния узлов и агрегатов локомотивов. Только после получения стабильного потока данных можно развить процедуры по обработке полученной информации и ее дальнейшей систематизации, с последующим развертыванием алгоритма принятия решений.

В статье показаны основные лимитирующие узлы локомотивов и проанализированы параметры их контроля. В соответствии с выявленными лимитирующими узлами представлены конкретные средства для обеспечения непрерывного отслеживания их технического состояния. Определены принципы организации и развития системы непрерывного мониторинга технического состояния локомотивного парка.

**Ключевые слова:** мониторинг, техническое состояние, локомотив, лимитирующие узлы, средства мониторинга, диагностические возможности.

Yu. A. Davydov, A. K. Plyaskin, A. S. Kushniruk

Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, the Russian Federation

Received: October 01, 2018

## CONTROLLING ACTUAL TECHNICAL CONDITIONS OF LOCOMOTIVES ON THE BASIS OF DIAGNOSTICS

**Abstract.** According to the development strategy of the Russian Railways holding company until 2030, the network is planned to switch from the preventive maintenance system of the locomotive fleet to maintenance and repair in accordance with the actual technical condition of the tractive rolling stock. To implement this reform, it is necessary to organize continuous monitoring of the technical state of locomotives.

The staff of the Subdepartment of Locomotives of FESTU has been conducting applied research in the field of creating systems for monitoring the state of complex objects for many years. Monitoring technologies, built with the use of integrated solutions based on the diagnosis and processing of the results, allow systematizing and gradually presenting the process of forming solutions for the control of the parameters of locomotives and transport infrastructure facilities.

The main process of stable reading the parameters of the traction rolling stock is the grassroots automation and systems for determining the state of assemblies and components of locomotives. Only after receiving a stable data flow one can develop procedures for processing the information and its further systematization, followed by the deployment of a decision-making algorithm.

The article shows the main limiting nodes of locomotives and analyzes the parameters of their control. In accordance with the identified limiting nodes, specific means are provided to ensure continuous monitoring of their technical condition. The principles of organization and development of the system of continuous monitoring of the technical condition of the locomotive park are determined.

**Keywords:** monitoring, technical condition, locomotive, limiting nodes, monitoring tools, diagnostic capabilities.

### Введение

В настоящее время на железнодорожном транспорте используется планово-предупредительная система организации обслуживания и ремонта согласно нормам пробега, где преобладает периодический контроль технического состояния тягового подвижного состава с при-

менением стационарных и мобильных диагностических комплексов [1, 2]. Качество оценки технического состояния тягового подвижного состава (ТПС) характеризуется количеством происшествий неплановых ремонтов. Основные мероприятия по контролю работы локомотивов основываются на принципах определения надежности тех-



нических объектов [3]. Исследования, приведенные в статье, показывают основные лимитирующие узлы локомотивов и возможность контроля параметров их работы. В соответствии с определенным перечнем лимитирующих узлов представлены и проанализированы средства обеспечения непрерывного отслеживания их технического состояния. Определены возможные траектории развития системы непрерывного контроля технического состояния ТПС.

#### Исследования отказов тягового подвижного состава

Проведенные исследования отказов отражают динамику, представленную на рис. 1 [4, 5].

Аналитические данные показывают, что используемая система контроля и поддержания технического состояния ТПС является малоэффективной, в связи с чем планируется переход к осуществлению ремонта по фактическому техническому состоянию. Для успешного перехода на ремонт по потребности необходима непрерывная оценка состояния лимитирующих узлов. Согласно данным по неплановым ремонтам локомотивного парка [6, 7], основными лимитирующими узлами ТПС являются: тяговые электродвигатели (ТЭД), дизель-генераторная установка, топливная аппаратура, моторно-осевые подшипники (МОП), буксовые узлы.

#### Диагностические возможности лимитирующих узлов тягового подвижного состава

Рассмотрим диагностические возможности по представленным лимитирующим узлам ТПС.

Основной причиной выхода из строя ТЭД является снижение электрического сопротивления изоляции его обмоток вследствие перегрева и воздействия факторов окружающей среды. Актуальным является вопрос бортовой регистрации сопротивления изоляции. Электрическое сопротивление изоляции обмоток можно регистрировать во время работы ТЭД. Существуют устройства непрерывной диагностики состояния изоляции силовых цепей, в том числе с выводом информации на пульт управления тяговой единицы [8].

Схема данного устройства представлена на рис. 2, где 1 – источник питания; 2 – блок формирования импульсного напряжения; 3 – датчик тока; 4 – аналогово-цифровой преобразователь; 5 – блок вычисления сопротивления изоляции; 6 – индикатор текущего сопротивления изоляции; 7 – модуль памяти; 8 – блок вычисления прогнозируемых параметров; 9 – индикатор; 10 – одновибратор периодических импульсов; 11 – мультивибратор.

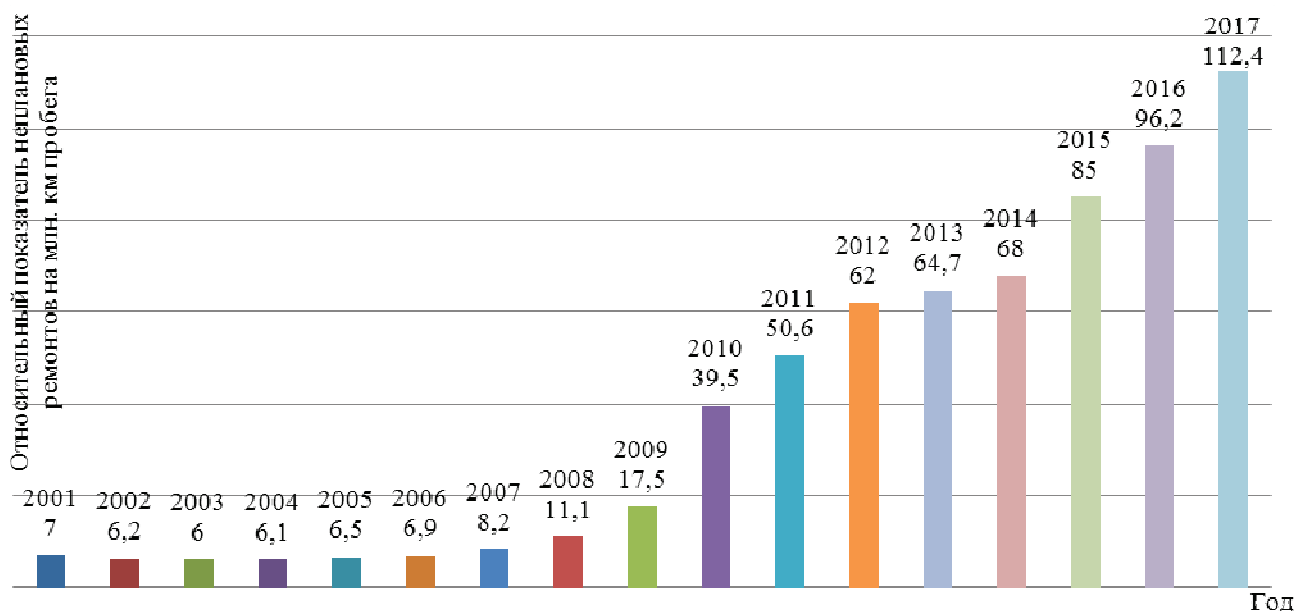


Рис. 1. Динамика проведения неплановых ремонтов тягового подвижного состава по всей сети ОАО «РЖД»

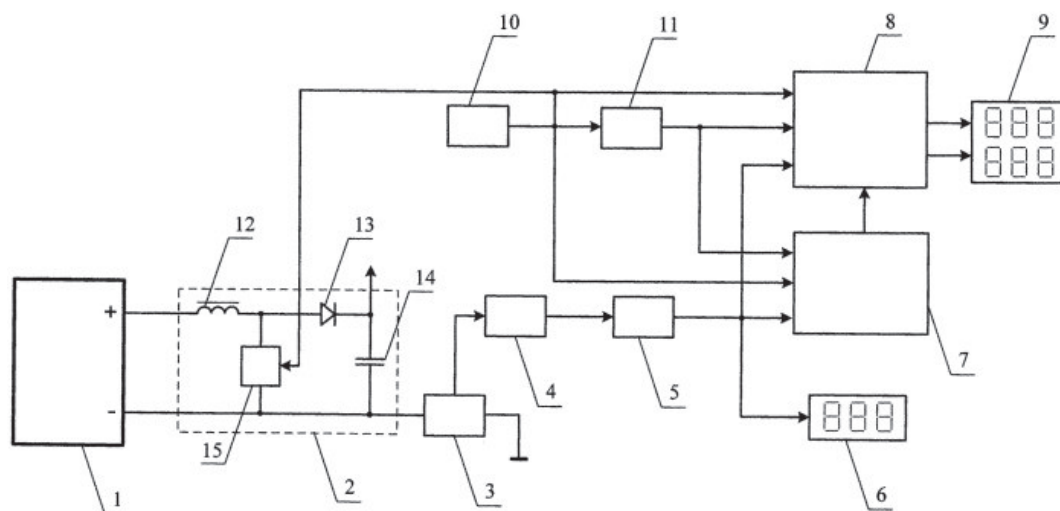


Рис. 2. Схема устройства непрерывной диагностики состояния изоляции силовых цепей

Устройство предназначено для непрерывного контроля и прогнозирования состояния (сопротивления) и влажности изоляции силовых цепей по регистрации значений тока утечки. Непрерывный контроль электрического сопротивления и влажности изоляции обмоток ТЭД позволит прогнозировать пробой изоляции и в соответствии с полученной информацией принимать решения по дальнейшей эксплуатации ТЭД.

Одним из основных лимитирующих элементов дизеля является цилиндропоршневая группа (ЦПГ). Последствиями неисправной работы ЦПГ являются снижение мощности дизеля, как следствие падение мощности дизель-генераторной установки и ТЭД, снижение смазывающих свойств масла, увеличение расхода масла на угар. Указанные последствия влияют на безопасность перевозочного процесса и технико-экономические показатели тепловозов. Основной причиной неисправной работы ЦПГ является снижение компрессии в цилиндрах из-за разрушения поршневых колец или увеличения диаметра втулки цилиндра вследствие ее износа. Для контроля работы ЦПГ целесообразным является измерение давления газов в цилин-

дре, по величине которого можно определить неисправно работающие группы. Причиной разрушения поршневых колец является повышенная (не входящая в рабочий интервал) температура в камере сгорания, возникающая из-за нарушений работы газораспределительного механизма или топливной аппаратуры. Для комплексного диагностирования лимитирующих элементов дизеля необходима регистрация индикаторных показателей, а также фаз газораспределения и подачи топлива.

Для регистрации индикаторных показателей дизеля используются датчики с высокими характеристиками по линейности, частотной характеристике, обладающие возможностью работы в условиях экстремальной температуры и значительных интервалах давления. Сравнительный анализ датчиков давления показал, что лучшую стойкость к высоким температурным воздействиям имеют пьезоэлектрические датчики давления [9]. Схема работы данного типа датчиков представлена на рис. 3, где 1 – экранированная защита; 2 – корпус датчика; 3 – пьезоэлектрический элемент; 4 – электрод; 5 – изолятор; 6 – компенсационный диск; 7 – диафрагма с промежуточным элементом.

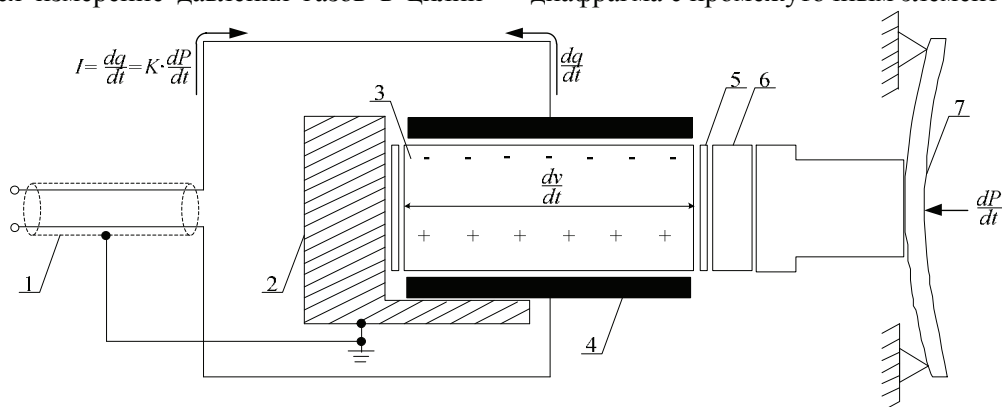


Рис. 3. Устройство пьезоэлектрического датчика давления

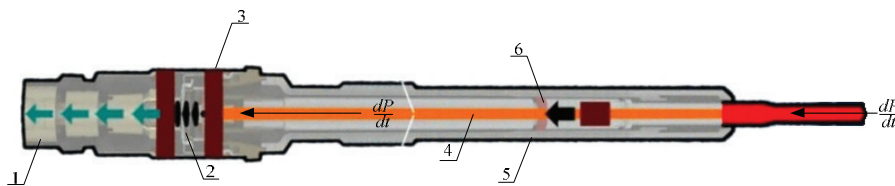


Рис. 4. Датчик давления газов в камере сгорания

Изменение давления  $\frac{dP}{dt}$ , воздействующее на диафрагму, передается на пьезоэлектрический кристалл, деформируя его со скоростью  $\frac{dv}{dt}$ . посредством пьезоэлектрического эффекта, за счет деформации, поляризуется заряд  $q$  в электроде, вследствие этого возникает электрический ток  $I$ , который формирует выходной сигнал датчика

$$I = -\frac{dq}{dt} = K \cdot \frac{dP}{dt}, \quad (1)$$

где  $K$  – коэффициент чувствительности датчика (коэффициент усиления).

Датчики такого типа реализованы в монтированном виде в свечах накаливания, форсунках, свечах зажигания для изоляции чувствительных элементов и диафрагмы от критических температурных воздействий камеры сгорания [10]. Вариант реализации данного датчика в камере сгорания дизеля представлен на рис. 4, где 1 – контактные выводы датчика; 2 – пьезоэлектрический элемент; 3 – диафрагма; 4 – промежуточный элемент; 5 – корпус; 6 – компенсационный диск. Для измерения температуры в цилиндре дизеля необходимо использовать датчики, работающие в интервалах значительных температур (температура газов в камере сгорания тепловозных дизелей достигает 1600–1700 °С [11]), что сказывается на сроке их службы. На тепловозах применяется косвенный метод контроля температуры камеры сгорания ЦПГ дизеля – измерение температуры в выпускном коллекторе либо на поверхности головок бло-

ков цилиндров (ГБЦ). При этом используются термопары и резистивные датчики. Однако на данный метод контроля влияют рабочие режимы и конструкция дизеля, которые искажают реальную картину протекания тепловых процессов и не дают возможность прогнозирования чрезмерного увеличения температуры в камере сгорания на ранних стадиях:

- работа охлаждающего контура;
- неравномерное распределение теплопроводности по ГБЦ;
- высокая инерционность метода измерения.

Актуальным является вопрос непосредственного измерения температуры в камере сгорания. Для контроля температуры камеры сгорания возможно использование пирометров либо термопар, выполненных из тугоплавких материалов (вольфрам-молибден, вольфрам-рений).

Для контроля оптимальной работы дизеля совместно со средствами отслеживания индикаторных показателей дизеля возможно использование индукционных датчиков синхронизации. Датчики синхронизации предназначены для определения положения коленчатого вала, распределительного вала, а соответственно и хода поршня, углов открытия, закрытия впускных и выпускных клапанов, опережения подачи топлива. Схема работы индуктивного датчика синхронизации представлена на рис. 5, где 1 – диск синхронизации (шків коленчатого вала); 2 – обмотка катушки индуктивности; 3 – постоянный магнит (сердечник); 4 – корпус измерительного устройства.

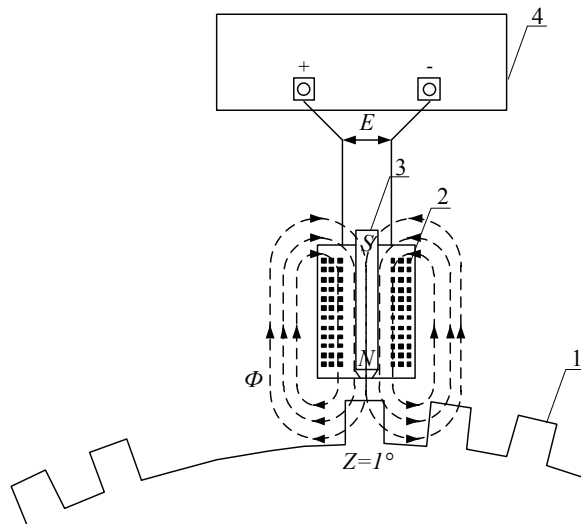


Рис. 5. Схема работы индуктивного датчика синхронизации

Важной характеристикой работы дизеля является своевременная подача топлива в цилиндр, от осуществления которой зависит эффективность горения топлива, мощность, коэффициент полезной работы, ресурс дизеля. Для контроля угла подачи топлива на отечественных дизелях совместно с датчиками синхронизации используют пьезоэлектрические накладные датчики давления, работающие на основе пьезоэлектрического эффекта.

Применение представленных датчиков позволяет вести регистрацию параметров дизеля, которые отвечают за его оптимизированную

работу: угол опережения подачи топлива  $\varphi_{\text{опт}}$ , максимальная температура  $T_{\text{max}}$ , максимальное давление  $P_{\text{max}}$ . Характеристики регистрируемых параметров представлены на рис. 6, где  $A$  – амплитуда колебаний, вызванных незначительной деформацией топливопровода вследствие подачи топлива, пропорциональная изменению напряжения на обкладках (электродах) пьезоэлектрического элемента;  $T$  – температура в цилиндре (максимальная температура);  $P$  – давление в цилиндре (максимальное давление);  $\varphi_{\text{п.к.в.}}$  – положение коленчатого вала.

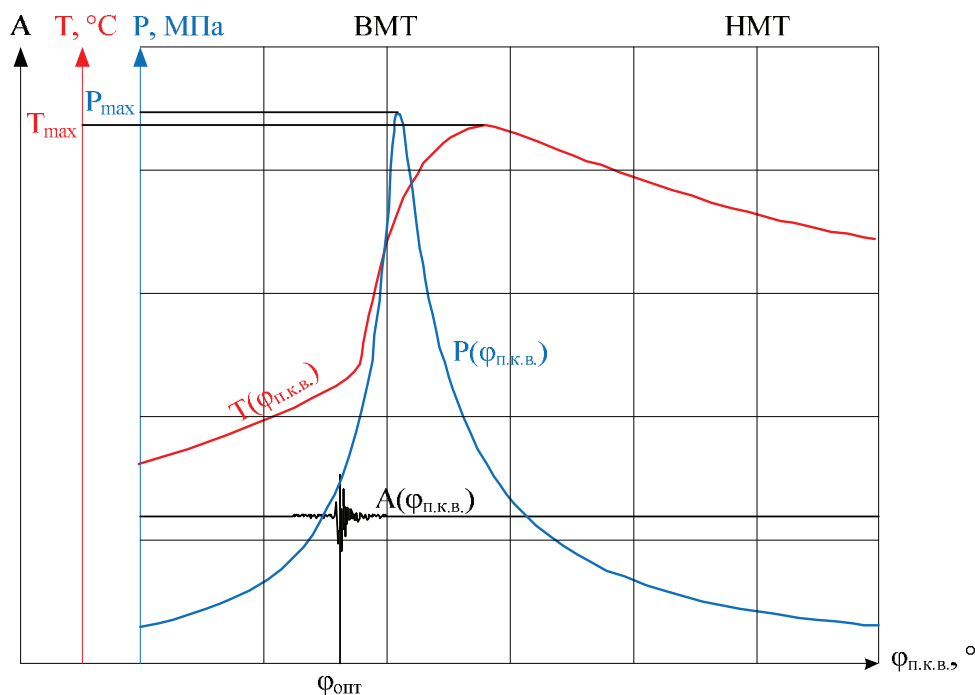


Рис. 6. Характеристики, регистрируемые с помощью представленных средств мониторинга дизеля



Непрерывная регистрация индикаторных показателей, параметров синхронизации с помощью описанных средств позволит получить достоверные сведения о техническом состоянии дизеля, заблаговременно определить неисправности для принятия корректирующих решений. Непрерывная регистрация индикаторных параметров дизеля дает перспективную возможность развития адаптивной системы управления работой дизеля, назначением которой является оптимизация режимов работы дизеля с целью эффективного расходования топлива и использования его ресурса. Подобные устройства управления и диагностирования используются на зарубежных тепловозных дизелях *General Electric GEVO 12*, которые эксплуатируются на отечественных тепловозах серий ТЭ10GE, ТЭ116УД, ТЭ25К<sup>2М</sup>.

Одним из ответственных узлов тягового подвижного состава являются моторно-осевые подшипники скольжения. Кафедрой «Локомотивы» Дальневосточного государственного университета путей сообщения накоплен опыт в области исследования режимов работы моторно-осевых подшипников скольжения. Научно-исследовательская работа в данном направлении проводилась совместно с представителями Дальневосточной железной дороги (ДВОСТЖД) – филиала ОАО «РЖД» и Новочеркасского электровазостроительного завода. Целью научно-исследовательской работы являлась организация автономного непрерывного мониторинга фактического состояния моторно-осевых подшипников колесно-моторных блоков электровозов серии ЗЭС5К на полигоне Новочеркасск – Хабаровск, с дальнейшим исследованием режимов работы в эксплуатации на ДВОСТЖД. Был создан многоканальный измерительный комплекс для наблюдения динамики температур вкладышей моторно-осевых подшипников. По результатам исследования наблюдений колесно-моторных блоков электровозов серии ЗЭС5К установлены систематические перегревы вкладышей моторно-осевых подшипников, в отдельных случаях температура нагрева вкладыша достигала 104 °С (перегрев на 34 °С от предельного значения в 70 °С). Данный опыт доказывает необходимость ведения непрерывного контроля фактического состояния МОП скольжения с целью упреждения аварийных ситуаций и последствий неисправной работы данного узла.

Для оценки технического состояния подшипниковых узлов колесно-моторных блоков необходимо контроль уровня осевого масла в смазывающих устройствах, температуры вкладышей моторно-осевых подшипников и букс, а также

вибрации во время работы.

Измерение уровня жидкостей, в том числе и масла, в различных сферах деятельности осуществляют с помощью поплавковых, тепловых, ультразвуковых или емкостных датчиков. Для измерения уровня масла в смазывающих устройствах МОП целесообразно использовать тепловые, ультразвуковые либо емкостные датчики, так как при отрицательных температурах ниже –40...–55 °С происходит застывание осевого масла, что приведет к выводу из строя любого поплавкового датчика из-за зависания поплавка в вязкой среде.

Контроль температуры вкладышей МОП возможно осуществлять с помощью монтирования в них термодатчиков, при этом интервал регистрируемых температур датчиков должен входить в рабочий интервал температуры вкладышей МОП – 0–70 °С.

Ответственным узлом подвижного состава является буксовый узел. Основные неисправности буксовых узлов сопровождаются чрезмерным повышением температуры, регистрация которой позволит оценить их техническое состояние. Рабочая температура буксового узла должна превышать температуру окружающей среды не более чем на 25–30 °С, при этом максимально допустимая температура составляет 80 °С. Поэтому для измерения температуры буксовых узлов целесообразно применять датчики с верхним пределом до 100–120 °С, имеющие защиту от запыленности, загрязнения, воздействия влажности и знакопеременных температурных воздействий.

На железнодорожном транспорте применяются стационарные устройства контроля перегрева буксовых узлов, примерами являются: пост обнаружения нагретых букс (ПОНАБ), использующий в своем комплексе инфракрасные датчики температуры (пирометры), а также комплекс технических средств мониторинга букс (КТСМ), дистанционная информирующая система контроля букс (ДИСК-Б) [12, 13]. Стационарные комплексы ведут контроль технического состояния букс только на участках дислокации, поэтому они не предназначены для непрерывного контроля фактического состояния данного узла. Известны термодатчики с легкоплавким элементом (термодатчик 393), применяемые на подвижном составе. Недостатком таких датчиков является низкая информативность по техническому состоянию буксового узла и, как следствие, отсутствие возможности диагностирования развития неисправностей на ранних стадиях для их своевременного устранения.

Необходимо вести непрерывную регистрацию температуры буксового узла. Для регистра-

ции температуры букс локомотивов (до 80 °С) целесообразно использовать терморезистивные датчики с медными или никелевыми преобразователями. Предел измерения данных датчиков варьируется от –60 до 180 °С.

Регистрация амплитуды механических колебаний (вибрации) осуществляется с помощью акселерометров и позволяет определить характер дефекта, так как любое изменение в структуре динамического звена сопровождается изменением колебательной характеристики. Поэтому актуальным является вопрос применения вибродатчиков в экипажной части, при непосредственной эксплуатации локомотива, и накопления информационной дефектной базы для определения дефектов узлов по их колебательной характеристике с учетом колебаний, вызванных условиями эксплуатации.

Применение отдельных представленных средств мониторинга обеспечит контроль технического состояния выявленных лимитирующих элементов ТПС.

#### Диагностирование неисправностей при распределении относительного показателя технического состояния с применением теории нечетких множеств

Для обработки диагностических данных и формирования гистограмм технического состояния  $F_x$  с использованием представленных средств контроля возможно применение теории нечетких множеств [14, 15]. Данная теория в области технической диагностики основана на разделении предотказных состояний элементов технической системы в пределах от «рабочего» до «неисправно-

го». В частности, на примере теплового контроля подшипниковых узлов возможно применение такой теории для определения относительного технического состояния. На рис. 7 представлена функция принадлежности нечетких множеств технического состояния относительно температуры.

Пусть критическая температура  $T_{кр}$ , соответствующая неисправности объекта диагностирования, составляет 80 °С, при этом ось ординат является шкалой относительного технического состояния от 100 % до 0 % (от 1 – объект диагностирования исправен до 0 – объект диагностирования неисправен), так и шкалой температуры, ось абсцисс является шкалой времени в минутах. Множество  $L$  для нормальной работы объекта диагностирования соответствует температуре от –15 до 15 °С и является четким, так как техническое состояние  $HP$  при этом равно 100 % = 1, при  $HP \leq 0$  множество  $H$  является также четким, так как соответствует критической температуре 80 °С, а следовательно, неисправному состоянию объекта диагностирования. При  $HP$  от 100 % до 0 % множество  $M$  является нечетким, так как диагностические параметры, рассматриваемые в заданном интервале, являются предотказными. Зная время и величину изменения температуры, можно рассчитать скорость изменения температуры по изменению величин нечеткого множества  $M$ :

$$V_i = \frac{T}{t}, \quad (2)$$

где  $T$  – температура объекта диагностирования, °С;  
 $t$  – время, мин.

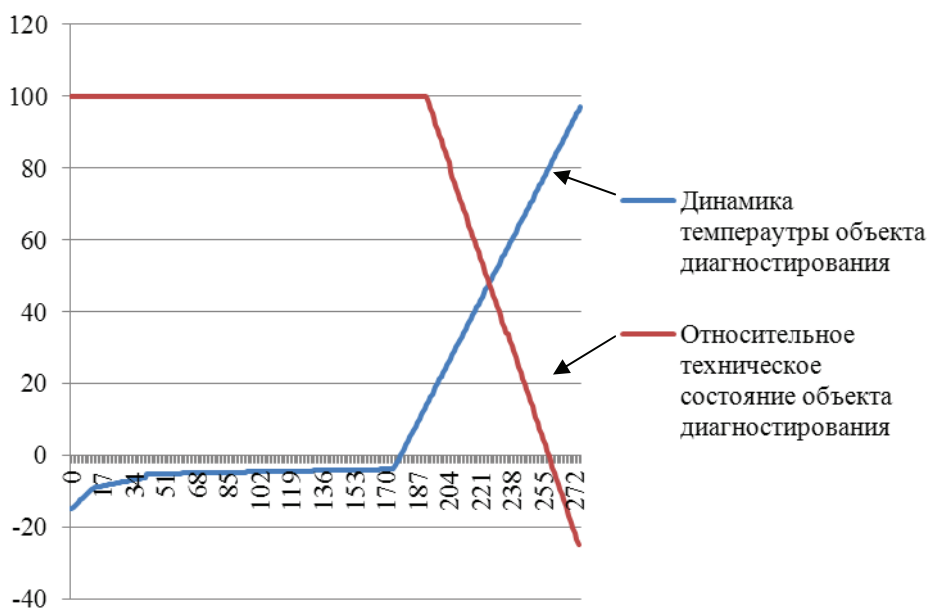


Рис. 7. Функция принадлежности нечетких множеств технического состояния объекта диагностирования относительно температуры



Вычисляя скорость изменения температуры по каждому значению нечеткого множества, можно определить оставшееся время безотказной работы объекта диагностирования:

$$t_p = \frac{T_{кр}}{V_t}. \quad (3)$$

Таким образом, посредством данной методики возможно разделение и анализ предотказных состояний узлов локомотивов на основе обработки их диагностических данных.

При получении информации о техническом состоянии узлов тяговой единицы и ее обработке имеется возможность формирования цифровой диагностической карты локомотива, которая представляет собой информационную систему хранения и передачи данных о техническом состоянии как отдельных узлов тяговой единицы, так и локомотива в целом для поддержки принятия управленческих решений.

#### **Развитие системы контроля фактического технического состояния**

Для обеспечения полноценного функционирования системы контроля фактического технического состояния ТПС необходимо внедрять очередные средства мониторинга, определенные в соответствии с вновь выявленными лимитирующими элементами. Такая организация контроля фактического технического состояния ТПС соответствует циклу процессов *PDCA*, или циклу Деминга – Шухарта [16–18]. Цикл Деминга – Шухарта подразумевает под собой постоянное улучшение какой-либо управляющей системы. Процессам цикла Деминга – Шухарта соответствуют:

- планирование (*P – Plan*) – установление целей и определение процессов;
- выполнение (*D – Do*) – осуществление процессов;
- проверка (*C – Check*) – измерение процессов;
- корректирующие действия (*A – Action*) – улучшение системы в соответствии с полученными данными.

Тогда алгоритм реализации цикла *PDCA* в системе контроля фактического технического состояния ТПС будет следующим.

1. Планирование внедрения в эксплуатацию системы контроля фактического технического состояния ТПС – внедрение в систему средств мониторинга очередных лимитирующих узлов.
2. Эксплуатация ТПС с контролем фактического технического состояния.
3. Выявление очередных лимитирующих элементов ТПС – отчетная форма ТО-15 автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом.
4. Внедрение очередных средств контроля в соответствии с выявленными лимитирующими узлами ТПС – анализ выявленных лимитирующих узлов, выбор соответствующих средств контроля.

#### **Заключение**

Преимуществом данной системы будет являться:

- заблаговременное информирование ремонтных и обслуживающих структур о неисправностях локомотивов, а соответственно, производство оперативного ТО и ТР и, как следствие, снижение времени простоя ТПС в депо;
- информирование эксплуатационных структур о техническом состоянии тяговой единицы для целесообразной подачи под соответствующий вид работы;
- повышение безопасности движения за счет непрерывного мониторинга технического состояния локомотива в режиме реального времени;
- повышение производительности локомотивного комплекса за счет осуществления рационального ремонта в соответствии с фактическим состоянием тяговых единиц (рационализация осуществления ТО и ТР).

Приведенный цикл развития системы обеспечит комплексный мониторинг технического состояния локомотивного парка, что позволит организовать ТО и ТР локомотивов по их фактическому состоянию.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Четвергов В.А. Техническая диагностика локомотивов [Текст] : учеб. пособие для специалистов / В.А. Четвергов, С.М. Овчаренко, В.Ф. Бухтеев ; под ред. В.А. Четвергова. – Москва : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. – 371 с.
2. Автоматизированная система управления надежностью локомотивов группы компаний «Локомотивные технологии» [Текст] / А.А. Белинский, В.Н. Пустовой, И.К. Лакин // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов: Материалы третьей всероссийской научнотехнической конференции с международным участием / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2016. С. 6–10.
3. Стратегия управления надежностью локомотивов [Текст] / В.А. Четвергов, С.М. Овчаренко – Механика, машиностроение. Омский научный вестник № 7 (43) – Омский государственный университет путей сообщения. – Омск, 2006.





4. О состоянии локомотивного парка ОАО «Российские железные дороги» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://iizd.ru>.
5. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта локомотивов [Текст] / А.Н. Головаш, Н.Б. Куршакова // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов: Материалы третьей всероссийской научнотехнической конференции с международным участием / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2016. С. 52–58.
6. Дульский Е.Ю. Анализ отказов тяговых двигателей электровозов серии «Ермак» [Текст] / Е.Ю. Дульский // Региональный центр инновационных технологий, 2012. – 14 с.
7. Головаш А.Н. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта локомотивов / А.Н. Головаш, Н.Б. Куршакова // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов. – 2016. – С. 52–59.
8. Пат. 2590221 Российская Федерация, МПК G01R31/00, G01R27/04, B60L3/00. Устройство для диагностики состояния изоляции силовых цепей [Текст] / ФГБОУ ВО «ДВГУПС»; заявитель и патентообладатель Хабаровск, ФГБОУ ВО «ДВГУПС». заяв. 20.04.2015 опубл. 10.07.2016. – 12 с.
9. Датчики [Текст] : Справочное пособие / В.М. Шараров [и др.] ; под общ. ред. В.М. Шарарова, Е.С. Полищука. – Москва : Техносфера, 2012. – 624 с.
10. BERU – Pressure sensor glow plug (PSG) Датчики давления. – Режим доступа: <http://beru.federalmogul.com/ru>.
11. Тепловозные двигатели внутреннего сгорания [Текст] : учебник для вузов / А.Э. Симсон [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Транспорт, 1987. – 536 с.
12. Векслер М.С. Системы диагностики подвижного состава [Текст] / тексты лекций / М.С. Векслер // часть 1. – Челябинск : ЧИПС, 2005. – 116 с.
13. Швалов Д.В. Системы диагностики подвижного состава [Текст] : учебник для вузов ж.-д. транспорта / Д.В. Швалов, В.В. Шаповалов / под ред. Д.В. Швалова. – Москва : Маршрут, 2005. – 268 с.
14. Конищева Л.К. Основы теории нечетких множеств [Текст] : учебное пособие / Л.К. Конищева, Д.М. Назаров. – Санкт-Петербург : Питер, 2011. – 192 с.
15. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств [Текст] / А. Кофман // пер. с франц. – Москва : Радио и связь, 1982. – 432 с.
16. Процессный подход к управлению [Текст] / В.В. Репин, В.Г. Елиферов // Моделирование бизнес-процессов. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2008. – 408 с.
17. Shewhart W.A. Statistical method from the view-point of quality control. – Washington, The Graduate School, the Department of Agriculture, 1939. – P. 155.
18. Что такое всеобщее управление качеством? Японский путь. [Текст] / Ишикава К. М.: ТКБ Ин-терсертифика, 1998.

## REFERENCES

1. Chetvergov, V.A. Ovcharenko S.M., Bukhteev V.F. Tekhnicheskaya diagnostika lokomotivov: ucheb. posobie dlya spetsialistov [Technical diagnostics of locomotives: reference book for specialists]; In Chetvergov V.A. (ed.). Moscow: FSBEI «Educational and Methodical Center for Education in Railway Transport» Publ., 2014, 371 p.
2. Belinskii A.A., Pustovoi V.N., Lakin I.K. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya nadezhnost'yu lokomotivov gruppy kompanii «Lokomotivnye tekhnologii» [Automated system for managing the reliability of locomotives of the group of companies "Locomotive technologies"]. *Ekspluatatsionnaya nadezhnost' lokomotivnogo parka i povyshenie effektivnosti tyagi poezdov: Materialy tret'ei vserossiiskoi nauchnotekhnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Operational reliability of the locomotive fleet and increasing the efficiency of train traction: Materials of the third All-Russian Scientific-Technical Conference with international participation]. Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2016, pp. 6–10.
3. Chetvergov V.A., Ovcharenko S.M. Strategiya upravleniya nadezhnost'yu lokomotivov [Strategy for managing the reliability of locomotives]. *Mekhanika, mashinostroenie. Omskii nauchnyi vestnik* [Mechanics, engineering. Omsk Scientific Herald], No. 7 (43). Омский государственный университет путей сообщения Publ., Омск, 2006.
4. O sostoyanii lokomotivnogo parka ОАО «Rossiiskie zheleznye dorogi [Elektronnyi resurs] [On the state of the locomotive fleet of the Russian Railways [Electronic resource]]. Access mode: <http://iizd.ru>.
5. Golovash A.N., Kurshakova N.B. Sovershenstvovanie sistemy tekhnicheskogo ob-sluzhivaniya i remonta lokomotivov [Improving the system of maintenance and repair of locomotives]. *Ekspluatatsionnaya nadezhnost' lokomotivnogo parka i povyshenie effektivnosti tyagi poezdov: Materialy tret'ei vserossiiskoi nauchnotekhnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Operational reliability of the locomotive fleet and increase of the efficiency of train traction: Proceedings of the third All-Russian Scientific and Technical Conference with international participation]. Омск state transport un-ty. Омск, 2016, pp. 52–58.
6. Dul'skii E.Yu. Analiz otkazov tyagovykh dvigatelei elektrovovozov serii «Ermak» [Analysis of failures of traction engines of electric locomotives of the Ermak series]. *Regional'nyi tsentr innovatsionnykh tekhnologii* [Regional Center for Innovative Technologies], 2012, 14 p.
7. Golovash A.N., Kurshakova N.B. Sovershenstvovanie sistemy tekhnicheskogo ob-sluzhivaniya i remonta lokomotivov [Improving the system of technical maintenance and repair of locomotives]. *Ekspluatatsionnaya nadezhnost' lokomotivnogo parka i povyshenie effektivnosti tyagi poezdov* [Operational reliability of the locomotive fleet and increase in the efficiency of train traction], 2016, pp. 52–59.
8. *Ustroystvo dlya diagnostiki sostoyaniya izolyatsii silovykh tsepei* [Device for diagnosing the state of isolation of power circuits]. Pat. 2590221 Russian Federation, МПК G01R31/00, G01R27/04, B60L3/00. FGBOU VO «DVGUPS»; applicant and holder of credit is Khabarovsk FGBOU VO «DVGUPS». appl. 20.04.2015, publ. 10.07.2016, 12 p.
9. Sharapov V.M. et al. Datchiki: Spravochnoe posobie [Sensors: a reference book]. In V.M. Sharapov, E.S. Polishchuk [eds.]. Moscow: Tekhnosfera Publ., 2012, 624 p.



10. BERU – Pressure sensor glow plug (PSG) Datchiki davleniya [ERU - Pressure sensor glow plug (PSG) Pressure sensors]. Access mode: <http://beru.federalmogul.com/ru>.
11. Simson A.E. et al. Teplovoznye dvigateli vnutrennego sgoraniya: uchebnik dlya vuzov [Diesel internal combustion engines: a textbook for universities]. 2<sup>nd</sup> ed., revised and enlarged. Moscow: Transport Publ., 1987, 536 p.
12. Veksler M.S. Sistemy diagnostiki podvizhnogo sostava [Systems for diagnostics of rolling stock]. Part 1. Chelyabinsk : ChIRT Publ., 2005, 116 p.
13. Shvalov D.V., Shapovalov V.V. Sistemy diagnostiki podvizhnogo sostava: uchebnik dlya vuzov zh.-d. transporta [Diagnostic systems for rolling stock: a textbook for universities of railway transport]. In Shvalov D.V (ed.). Moscow: Marshrut Publ., 2005, 268 p.
14. Konyshcheva L.K., Nazarov D.M. Osnovy teorii nechetkikh mnozhestv: uchebnoe posobie [Fundamentals of the theory of fuzzy sets: a study guide]. St.-Petersburg : Piter Publ., 2011, 192 p.
15. Kofman A. Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv [Introduction to the theory of fuzzy sets]. Transl. from French. Moscow: Radio i svyaz' Publ., 1982, 432 p.
16. Repin V.V., Eliferov V.G. Protsessnyi podkhod k upravleniyu [The process approach to management]. *Modelirovanie biznes-protsessov [Business Process Modeling]*. Moscow: RIA «Standarty i kachestvo» Publ., 2008, 408 p.
17. Shewhart W.A. Statistical method from the view-point of quality control. Washington, The Graduate School, the Department of Agriculture, 1939, p. 155.
18. Ishikava K. Chto takoe vseobshchee upravlenie kachestvom? Yaponskii put' [What is universal quality management? Japanese way]. Moscow: TKB Intersertifika Publ., 1998.

### Информация об авторах

### Authors

Давыдов Юрий Анатольевич – д. т. н., профессор, кафедра «Локомотивы», ректор, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, e-mail: [puch@festu.khv.ru](mailto:puch@festu.khv.ru)

Пляскин Артем Константинович – к. т. н., доцент, кафедра «Локомотивы», заведующий кафедрой, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, e-mail: [loc@festu.khv.ru](mailto:loc@festu.khv.ru)

Кушнирук Алексей Сергеевич – аспирант, кафедра «Локомотивы», ассистент, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, e-mail: [alexey.kushniruk@mail.ru](mailto:alexey.kushniruk@mail.ru)

Davydov Yurii Anatol'evich – Doctor of Engineering Science, Professor, the Subdepartment of Locomotives, Rector, Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, e-mail: [puch@festu.khv.ru](mailto:puch@festu.khv.ru)

Plyaskin Artem Konstantinovich – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof., Head of the Subdepartment of Locomotives, Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, e-mail: [loc@festu.khv.ru](mailto:loc@festu.khv.ru)

Kushniruk Aleksei Sergeevich – Ph.D. student, Asst. of the Subdepartment of Locomotives, Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, e-mail: [alexey.kushniruk@mail.ru](mailto:alexey.kushniruk@mail.ru)

### Для цитирования

### For citation

Давыдов Ю. А. Контроль фактического технического состояния локомотивов на основе диагностики / Ю. А. Давыдов, А. К. Пляскин, А. С. Кушнирук // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2018. – Т. 59, № 3. – С. 38–47. – DOI: 10.26731/1813-9108.2018.3(59).38-47.

Davydov Yu. A., Plyaskin A. K., Kushniruk A. S. Controlling actual technical conditions of locomotives on the basis of diagnostics. *Modern technologies. System analysis. Modeling*, 2018, Vol. 59, No. 3, pp. 38-74. DOI: 10.26731/1813-9108.2018.3(59).38-47.

УДК 621.311

DOI: 10.26731/1813-9108.2018.1(57).47-57

**В. Л. Незевак**

Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск, Российская Федерация

Дата поступления: 15 октября 2018

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НАКОПИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ШИНАХ ПОСТА СЕКЦИОНИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ПРОПУСКА ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ ПОЕЗДОВ

**Аннотация.** В настоящей статье рассматриваются вопросы применения накопителей электрической энергии в системе тягового электроснабжения постоянного тока в условиях пропуска тяжеловесных поездов. В качестве мест размещения накопителей электрической энергии выбраны посты секционирования. В работе использован метод имитационного моделирования взаимодействия электроподвижного состава и системы тягового электроснабжения на примере одного из участков Транссиба в условиях организации движения тяжеловесных поездов. В результате моделирования получены суточные графики изменения напряжения и нагрузки накопителей, выполнена обработка данных. Показано влияние накопителей электроэнергии на основные энергетические показатели работы системы тягового электроснабжения. Получены частотные распределения для объемов электроэнергии, продолжительности эпизодов работы накопителя, оценки энергоемкости в режимах заряда и разряда, выполнена оценка энергоемкости и продолжительности работы накопителя электроэнергии при работе на посту секционирования.

**Ключевые слова:** система тягового электроснабжения, пост секционирования, накопитель электроэнергии, тяговая нагрузка, напряжение на шинах, объем электроэнергии, продолжительность эпизода работы, частотное распределение, энергоемкость.