



21. Buyakova N.V., Zakaryukin V.P., Kryukov A.V. Modeling of electrical fields in railway engineering structures. *Advances in Engineering Research. Vol. 158. International Conference on AviaMechanical Engineering and Transport (AviaENT 2018)*. 2018. Pp. 219-225.

Информация об авторах

Безридный Евгений Сергеевич – аспирант, Иркутский государственный университет путей сообщения, e-mail: bezrik4471@mail.ru

Буякова Наталья Васильевна – к. т. н., доцент, Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, e-mail: bn_900@mail.ru.

Крюков Андрей Васильевич – д. т. н., профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения; Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, e-mail: and_kryukov@mail.ru

Authors

Evgenii Sergeevich Bezridnyi – Ph.D. student, Irkutsk State Transport University, e-mail: bezrik4471@mail.ru

Natal'ya Vasil'evna Buyakova – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof., Angarsk State Technical University, e-mail: bn_900@mail.ru.

Andrei Vasil'evich Kryukov – Doctor of Engineering Science, Prof., Irkutsk State Transport University, Irkutsk National Research Technical University, e-mail: and_kryukov@mail.ru

Для цитирования

Безридный Е. С. Моделирование электромагнитных полей, создаваемых тяговыми сетями при движении высокоскоростных и тяжеловесных поездов / Е. С. Безридный, Н. В. Буякова, А. В. Крюков, // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 60–69. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).60–69

For citation

Bezridnyi E. S., Buyakova N. V., Kryukov A. V. Modelirovanie elektromagnitnykh polei, sozdavaemykh tyagovymi setyami pri dvizhenii vysokoskorostnykh i tyazhelovesnykh poezdov [Modeling of electromagnetic fields created by traction networks during the motion of high-speed and heavy trains]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]*, 2019. Vol. 63, No. 3, pp. 60–69. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).60–69

УДК 629.41

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).69–75

А. А. Аболмасов¹, Д. О. Лисин², В. А. Мельников²

¹ ООО «ЛокоТех», г. Москва, Российская Федерация

² ООО «Кlover Групп», г. Москва, Российская Федерация

Дата поступления: 30 апреля 2019 г.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ЛОКОМОТИВОВ ПО ДАННЫМ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. Начиная с 2012 г. компания «ЛокоТех-сервис» использует данные бортовых микропроцессорных систем локомотивов для их диагностики в сервисных локомотивных депо. Подтвержденный экономический эффект от сокращения затрат на сервисное обслуживание локомотивов только за 2015 г. превысил 100 млн руб. Проект «Умный локомотив», выполняемый «Кlover Групп» по заказу компании «Локомотивные технологии» с 2016 г. ставит перед собой амбициозную задачу по организации сбора и централизованного анализа данных микропроцессорных систем всех локомотивов новых серий, находящихся на сервисном обслуживании «ЛокоТех-Сервис». В настоящий момент, система находится в постоянной эксплуатации по тепловозам серий 2(3)ТЭ116У, ТЭП70БС(У) и 2ТЭ25КМ(А) и в опытной эксплуатации по электровозам серий 2(3,4)ЭС5К, ЭП1М(П), 2(3)ЭС4К и ЭП2К. Реализация проекта предполагает внедрение в уже существующих группах диагностики в сервисных локомотивных депо автоматизированного рабочего места, посредством которого будет осуществляться не только автоматизированная расшифровка данных микропроцессорных систем, но и их передача на сервер Умного локомотива для дальнейшей обработки. Несмотря на то, что автоматизированное рабочее место Умного локомотива находится в опытной эксплуатации только по тепловозам, уже сейчас обработка и загрузка данных на сервер производится в 35 из 54 сервисных локомотивных депо, входящих в периметр проекта. Однако возможности диагностики и прогнозирования остаточного ресурса оказываются во многом ограничены существующими методами обработки диагностической информации. Один из способов повышения точности анализа данных рассмотрен в данной статье.

Ключевые слова: диагностика, мониторинг, микропроцессорные системы управления, электрические машины, статистические методы.

A. A. Abolmasov¹, D. O. Lisin², V. A. Melnikov²

¹ LocoTech OOO, Moscow, the Russian Federation

² Clover Group OOO, Moscow, the Russian Federation

Received: April 30, 2019



IMPROVING THE METHODS OF DIAGNOSING ELECTRIC MACHINES OF LOCOMOTIVES ACCORDING TO THE DATA OF MICROPROCESSOR CONTROL SYSTEMS

Abstract. Since 2012 LokoTech-Service OOO uses data from on-board microprocessor systems (hereinafter MCS) of locomotives for their diagnosis in service locomotive depots (hereinafter SLD). The proven economic effect of reducing the cost of servicing locomotives in 2015 alone exceeded 100 mln. The "Smart Locomotive" project (hereinafter referred to as SL), implemented by Clover Group OOO by order of Locomotive Technologies OOO since 2016 sets itself the ambitious task of organizing the collection and centralized analysis of MCS data of all the locomotives of the new series that are serviced by LokoTekh-Service OOO. At the moment, the system is in permanent operation by diesel locomotives of classes 2(3)TE116U, TEP70BS(U) and 2TE25KM(A) and in experimental operation by electric locomotives of classes 2(3,4)ES5K, EP1M(P), 2(3)ES4K and EP2K. The project implementation involves the introduction of an automated workplace (hereinafter SL AWP) in the already existing SLD diagnostic groups, through which it will be possible to perform not only the automated decoding of the MCS data, but also the data transfer to the SL server for further processing. Despite the fact that SL AWP is in experimental operation only by diesel locomotives, the processing and uploading of data to the server is now carried out in 35 of 54 SLDs included in the project perimeter. However, the possibilities of diagnostics and prediction of residual life are largely limited to existing methods of processing diagnostic information. One of the ways to improve the accuracy of data analysis is considered in this article.

Keywords: diagnostics, monitoring, microprocessor control systems, electrical machines, statistical methods, Big Data.

Введение

Современные локомотивы оснащаются бортовыми микропроцессорными системами управления (МСУ) и диагностики, предназначенными для управления работой силовой электрической передачи и вспомогательного оборудования локомотивов. В общем случае МСУ локомотива состоит из управляющей стойки с платами, комплекта датчиков, органов управления (реле и сервоприводы) и дисплейного модуля (ДМ) для взаимодействия с машинистом (рис. 1).

Помимо основной функциональности, конструктивное исполнение большинства МСУ позволяет производить накопление и хранение информации о работе оборудования локомотивов в памяти ДМ с возможностью ее дальнейшего считывания посредством переносных flash-накопителей или дистанционного считывания через беспроводные сети GPRS или Wi-Fi (в зависи-

мости от исполнения МСУ).

Опыт мониторинга технического состояния локомотивов по данным микропроцессорных систем управления

Начиная с 2012 г., в сервисных локомотивных депо (СЛД) ООО «ТМХ-Сервис» производится считывание с последующей расшифровкой данных МСУ локомотивов в рамках концепции «АСУНТ» [1-5]. По результатам расшифровки данных МСУ выявляются инциденты (термин взят из стандартов ИТЛ, в котором под термином «Инцидент» подразумевается любой режим работы оборудования, отличный от нормального). Выявленные инциденты делятся на отказы и предотказные состояния, и заносятся в ERP-систему депо (АСУ «Сетевой график») для принятия мер при заходе локомотивов на ближайшее техническое обслуживание или технический ремонт [6-14].

Одним из дополнительных эффектов от мо-

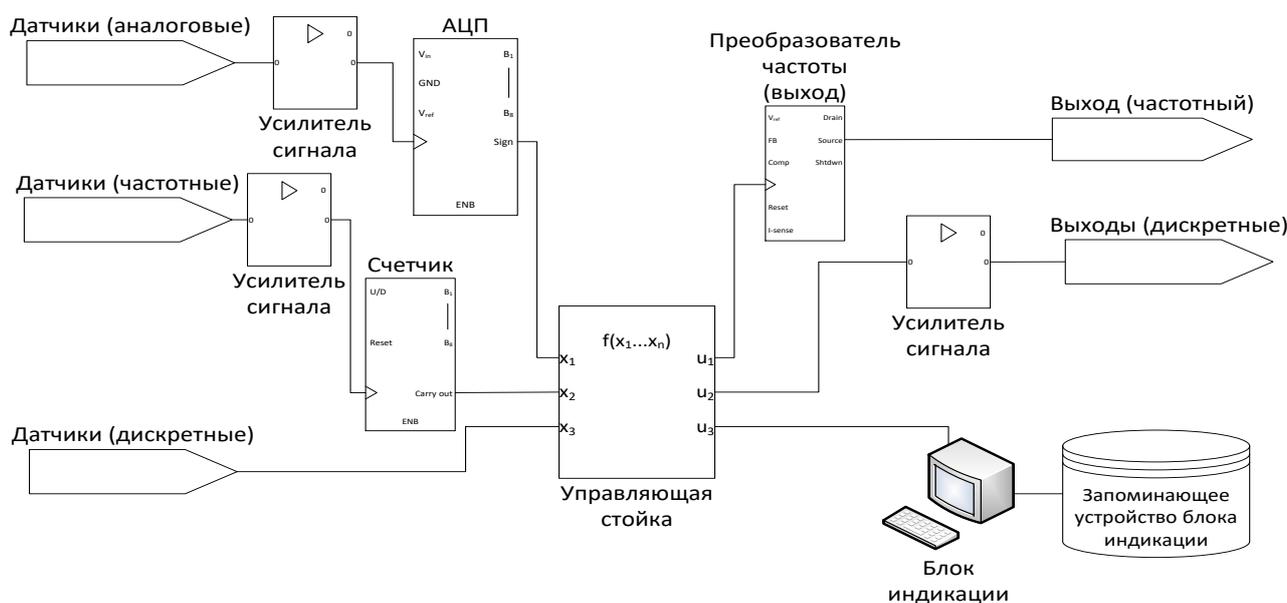


Рис. 1. Принципиальная схема МСУ



мониторинга технического состояния локомотивов по данным МСУ является возможность оценки диагностического потенциала самих МСУ посредством анализа статистики отказов узлов локомотива. Так, статистика отказов тяговых электродвигателей (ТЭД) электровозов 2ЭС5К и 3ЭС5К за 2018 г. (рис. 2) свидетельствует о том, что подавляющее большинство отказов (91 %) приходится на коллекторно-щеточный аппарат, еще 5 % – на дополнительные полюса, а отказы по якору ТЭД составляют всего 3 % от общего числа отказов [15-20].

Распределение отказов ТЭД по типу (рис. 3) позволяет сделать вывод о том, что наиболее ча-

стым типом отказа является переброс дуги по коллектору. На втором месте по частоте появления находится пробой на землю, являющийся следствием деградации изоляции ТЭД вследствие механических или термических повреждений.

Наличие столь значительного количества отказов коллекторно-щеточного аппарата ТЭД вызывает особое беспокойство т. к. высокая скорость развития подобных отказов снижает точность оценки остаточного ресурса локомотива.

При подобном подходе принципиальным с точки зрения определения технического состояния локомотива становится корректная интерпретация выявляемых инцидентов.



Рис. 2. Распределение отказов тяговых электродвигателей по узлам, %

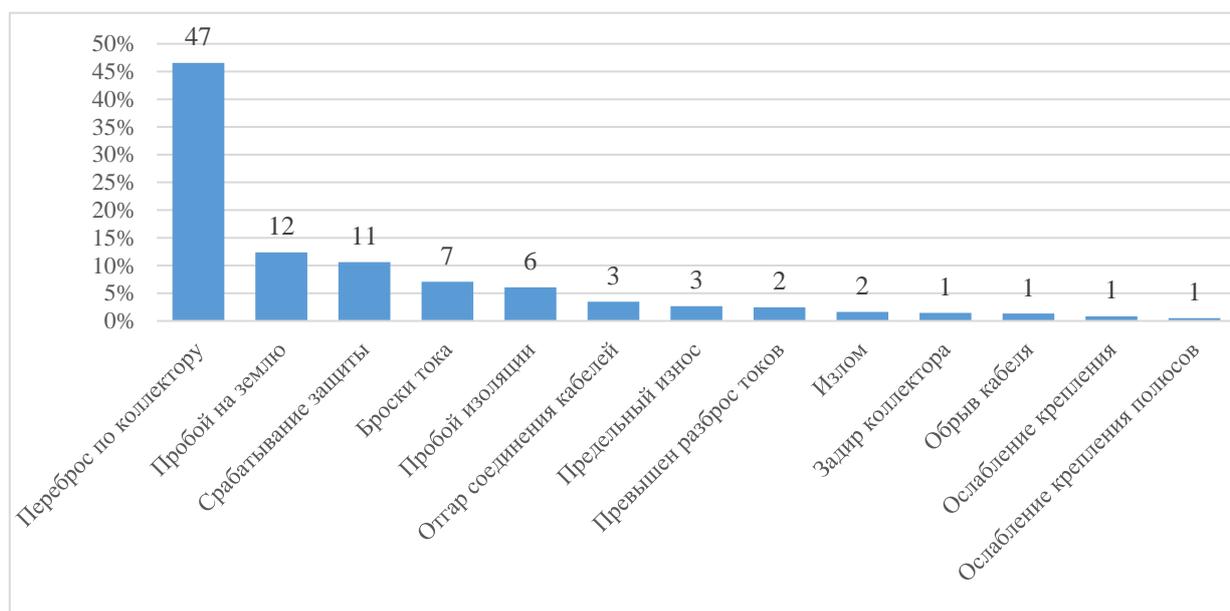


Рис. 3. Распределение отказов тяговых электродвигателей по типу, %



Способы повышения точности диагностирования тяговых электродвигателей

Опыт внедрения автоматизированного рабочего места «Умный локомотив» (АРМ УЛ) в сервисном локомотивном депо (СЛД) «Вихоревка» (электровозы 2ЭС5К и 3ЭС5К) показал, что основными факторами, снижающими точность диагностики являются:

– неисправные датчики МСУ (сбои в работе датчиков создают «шумы» в данных, способствующие появлению ошибок II рода);

– взаимное влияние отказов оборудования локомотива (зачастую, отказ одного из узлов приводит к изменению режимов работы всего локомотива, в том числе и выходу других параметров за допустимые пределы);

– «звонковая» работа отказавшего оборудования (подобные режимы работы могут вызывать до нескольких тысяч однотипных инцидентов при фактически одном отказе).

Для решения выявленных проблем были разработаны изменения в алгоритм обработки данных МСУ (рис. 4). При обработке данных результаты диагностики предыдущего уровня

учитываются на следующем (результаты диагностики датчиков учитываются при работе алгоритмов диагностики, результаты работы алгоритмов – при оценке параметров работы локомотива и т. д.). На верхнем уровне диагностики учитывается не только факт, но и частота срабатывания алгоритмов, что дает дополнительную информацию о риске отказа.

Помимо учета результатов работы алгоритмов диагностики и значений расчетных параметров работы оборудования локомотива, на верхнем уровне диагностики также учитывается информация о выполнении ремонтных работ на локомотиве, получаемая из автоматизированной системы управления «Сетевой график», что позволяет внести дополнительные корректировки в работу статистической модели, снизив влияние изменения параметров работы оборудования после его ремонта. Данное решение также позволило на основании статистических данных о выполнении работ по ремонту формировать преоритизированный список работ (табл.), облегчая процесс назначения работ по ремонту [21-24].

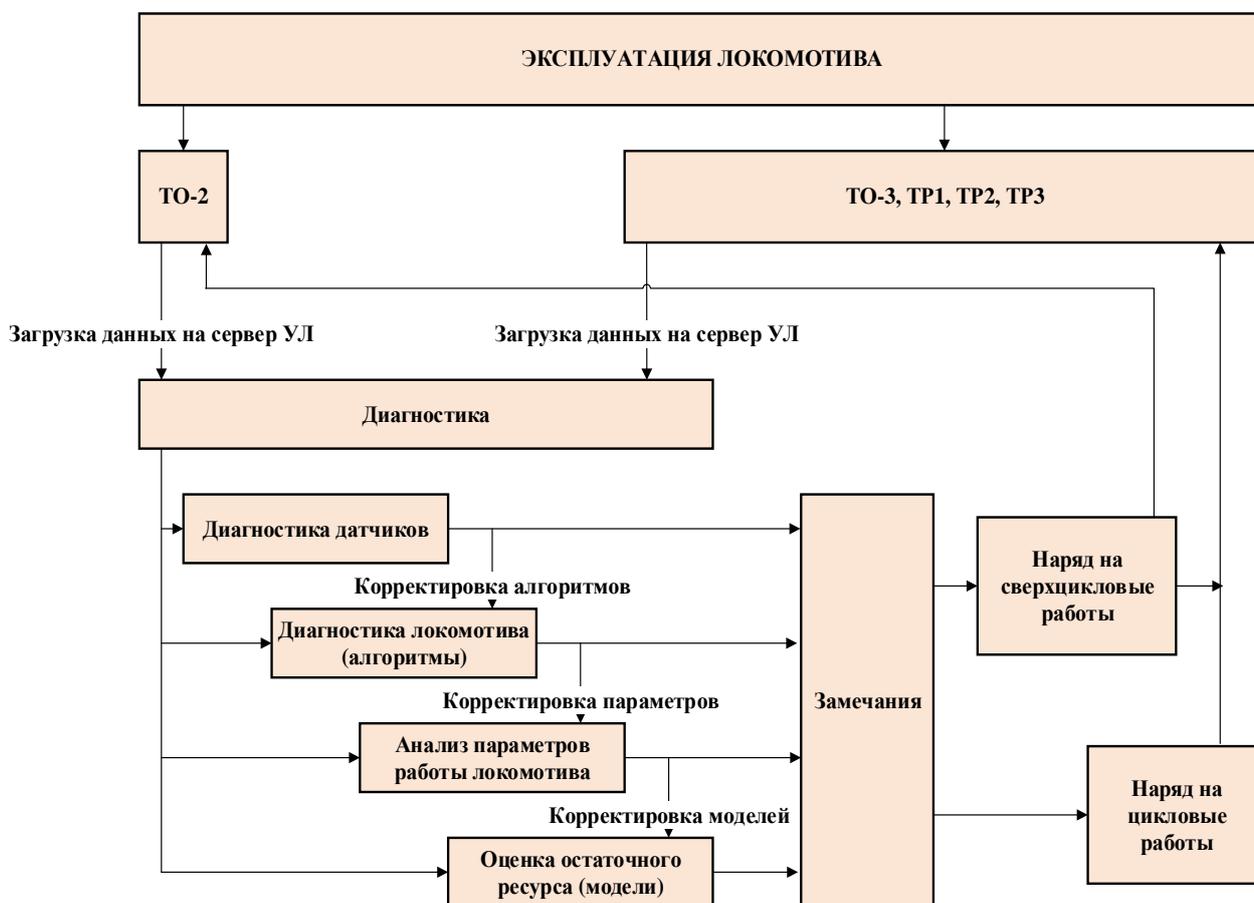


Рис. 4. Схема обработки данных микропроцессорных систем управления



Приоритизированный список работ по замечанию «Превышен разброс токов тяговых электродвигателей в рекуперации»

Наименование работы	% от общего
Тяговый электродвигатель осмотреть	14
Взаимодействие и правильность работы схем цепей управления проверить	8
Аппаратуру электрическую после ремонта под напряжением опробовать	5
Тяговый электродвигатель осмотреть, отремонтировать	5
Панель №7 – аппараты осмотреть, отремонтировать	4
Палец кронштейна щеткодержателя тягового электродвигателя снять, поставить	2
Поврежденную изоляцию межкатушечных соединений восстановить	2
Следы переброса на коллекторе тягового электродвигателя устранить	2
Фаски с коллекторных пластин снять (частично) со снятием щеткодержателя	2
Сопротивление изоляции тягового электродвигателя измерить	2

Заключение

Таким образом, применение в процессе диагностики ТЭД статистической обработки данных об истории работы узла и датчиков МСУ а также

выполненных ремонтных работах позволяет не только повысить точность диагностирования, но и облегчить процесс назначения работ по устранению выявленных замечаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мониторинг технического состояния и режимов эксплуатации локомотивов: теория и практика / К.В. Липа, А.А. Белинский, В.Н. Пустовой и др. М. : Локомотивные Технологии, 2015. 212 с.
2. Управление жизненным циклом локомотивов в группе компаний «Локомотивные технологии». Теория и практика / К.В. Липа, А.А. Белинский, В.Н. Пустовой и др. М. : Локомотивные Технологии, 2017. 212 с.
3. Касимов Д.Б., Обухов А.Д., Мельников В.А. Разработка оптимизированной модели тяговых ресурсов на полигоне железной дороги с учётом реализации предиктивной аналитики технического состояния локомотивного парка. // Современные технологии управления транспортным комплексом России: инновации, эффективность, результативность : сб. материалов I Национал. науч.-практ. конф. 2018. С. 100–106.
4. Лакин И.К., Павлов В.В., Мельников В.А. «Умный локомотив»: Диагностирование тяговых электродвигателей тепловозов с использованием методов машинного обучения // Транспорт Российской Федерации. 2018. №1 (74) С. 53–36.
5. Автоматизированная система управления надёжностью локомотивов (АСУНТ). Концепция ТМХ-Сервис. / К.В. Липа, В.И. Гриненко, С.Л. Лянгасов и др. М. : ТМХ-Сервис, 2012. 160 с.
6. Лакин И.К., Аболмасов А.А., Мельников В.А. Модель управления рисками отказов локомотивов // Мир транспорта. 2013. № 4 С. 130.
7. Мельников В.А. Типовые неисправности локомотивов по данным бортовых систем. Опыт ТМХ-Сервис // Эксплуатационная надёжность подвижного состава : тезисы междунар. науч.-практ. конф. 2013 С. 234.
8. Мельников В.А. Опыт мониторинга тепловозов по данным бортовых микропроцессорных систем // Наука МИИТа – транспорту : тр. науч.-практ. конф. М., 2013. С. 234.
9. Мельников В.А. Методические подходы к диагностированию тепловозов серии 2ТЭ116У по данным МСУ-ТП // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы пятой междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 40-летию начала строительства Байкало-Амурской магистрали. Иркутск, 2014 С. 612.
10. Аболмасов А.А., Мельников В.А. Информационные средства автоматизированной системы управления надёжностью локомотивов ТМХ-Сервис // Эксплуатационная надёжность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов : тезисы второй всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием. Омск, 2014. С. 12.
11. Мельников В.А. Эффективность диагностирования тепловозов 2ТЭ116У по данным бортовых микропроцессорных систем // 120 лет железнодорожному образованию в Сибири : материалы всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. 2014. С. 87.
12. Мельников В.А. Алгоритмическая защита современных локомотивов // Наука МИИТа – транспорту : тр. науч.-практ. конф. М., 2014. С. 147.
13. Мельников В.А. Диагностирование тепловозов по данным бортовых микропроцессорных систем // Мир транспорта. 2014. № 3. С. 56–62.
14. Мельников В.А. Эффективность диагностирования тепловозов 2ТЭ116У по данным бортовых микропроцессорных систем // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов : тезисы первой междунар. науч.-практ. конф. 2014. С. 208.
15. Гриненко В.И., Аболмасов А.А., Мельников В.А. Мониторинг технического состояния локомотивов по данным их бортовых микропроцессорных систем // Железнодорожный транспорт. 2015. № 4. С. 71–74.
16. Мониторинг технического состояния локомотивов. Теория и практика. / К.В. Липа, А.А. Белинский, В.Н. Пустовой и др. М. : Локомотивные технологии, 2015. 212 с.
17. Мельников В.А. Применение методов Data Mining для анализа режимов работы локомотива // Наука МИИТа – транспорту : тр. науч.-практ. конф. М., 2015. С. 156.
18. Мельников В.А., Лакин И.И., Аболмасов А.А. Алгоритмическая защита локомотивов // Локомотив. 2015. № 4. С. 8–10.
19. Лакин И.К., Мельников В.А., Габа Д.И. Анализ режимов работы тепловозов 2ТЭ116У по данным бортовых МСУ // Локомотив. 2015. № 5. С. 34–36.
20. Лакин И.К., Аболмасов А.А., Мельников В.А. Применение статистических методов при диагностировании тепловозов // Известия Транссиба. 2015. № 1(21). С. 20.



21. Мельников В.А. Использование корреляционного анализа при диагностировании тепловозов 2ТЭ116У // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы шестой междунар. науч.-практ. конф. Иркутск, 2015. С. 343–349.
22. Лакин И.К., Аболмасов А.А., Мельников В.А. Применение статистических методов при диагностировании тепловозов // Известия Транссиба. 2015. № 1 (21). С. 20–28.
23. Субботин Р.Н., Аболмасов А.А., Мельников В.А. Анализ наработки на неплановый ремонт тепловозов 2ТЭ116 // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов : материалы второй науч.-практ. конф. М. : Локомотивные технологии. 2015. С. 297–308.
24. Совершенствовать технологию реостатных испытаний тепловозов / Лакин И.К., Пляскин А.К. и др. // Локомотив. 2016. № 5. С. 38–42.

REFERENCES

- Lipa K.V., Belinskii A.A., Pustovoi V.N., Lyangasov S.L., Lakin I.K., Abolmasov A.A., Mel'nikov V.A., Lakin I.I., Barkunova A.A., Pustovoi I.V. Monitoring tekhnicheskogo sostoyaniya i rezhimov ekspluatatsii lokomotivov: teoriya i praktika [Monitoring the technical condition and operating modes of locomotives: theory and practice]. Moscow: OOO «Lokomotivnye Tekhnologii» Publ., 2015. 212 p.
- Lipa K.V., Belinskii A.A., Pustovoi V.N., Lakin I.K., Pustovoi I.V., Lakin I.K. et al. Upravlenie zhiznennym tsiklom lokomotivov v gruppe kompanii «Lokomotivnye tekhnologii». Teoriya i praktika [Locomotive life cycle management in the Locomotive Technologies group of companies. Theory and practice]. Moscow: OOO «Lokomotivnye Tekhnologii» Publ., 2017. 212 p.
- Kasimov D.B., Obukhov A.D., Mel'nikov V.A. Razrabotka optimizirovannoi modeli tyagovykh resursov na poligone zheleznoi dorogi s uchetom realizatsii prediktivnoi analitiki tekhnicheskogo sostoyaniya lokomotivnogo parka [Development of an optimized model of traction resources at the railway training ground, taking into account the implementation of predictive analytics of the technical condition of the locomotive fleet]. *Sbornik materialov I Natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Sovremennye tekhnologii upravleniya transportnym kompleksom Rossii: innovatsii, effektivnost', rezul'tativnost'» [The collection of materials of the 1st National Scientific and Practical Conference "Modern Technologies for Transport Management in Russia: Innovation, Efficiency, Progress"]*, 2018. Pp. 100–106.
- Lakin I.K., Pavlov V.V., Mel'nikov V.A. «Umnyi lokomotiv»: Diagnostirovanie tyagovykh elektrodvigatelei teplovozov s ispol'zovaniem metodov mashinnogo obucheniya [Smart Locomotive: Diagnosing traction electric motors of diesel locomotives using machine learning methods]. *Transport Rossiiskoi Federatsii [The transport of the Russian Federation]*, 2018. No.1 (74). Pp. 53–36.
- Lipa K.V., Grinenko V.I., Lyangasov S.L., Lakin I.K., Abolmasov A.A., Mel'nikov V.A. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya nadezhnost'yu lokomotivov (ASUNT). Kontseptsiya TMKh-Servis [Automated Locomotive Reliability Management System (ACCNT). The concept of TMX-Service]. Moscow: OOO «TMKh-Servis», 2012. 160 p.
- Lakin I.K., Abolmasov A.A., Mel'nikov V.A. Model' upravleniya riskami otkazov lokomotivov [Locomotive Failure Risk Management Model]. *Mir transporta [The world of transport]*, 2013. No. 4. Pp. 130.
- Mel'nikov V.A. Tipovye neispravnosti lokomotivov po dannym bortovykh sistem. Opyt TMKh-Servis [Typical malfunctions of locomotives according to on-board systems. Experience of TMX-Service]. *Ekspluatatsionnaya nadezhnost' podvizhnogo sostava. Tezisy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Operational reliability of rolling stock. Abstracts of an international scientific and practical conference]*, 2013. P. 234.
- Mel'nikov V.A. Opyt monitoringa teplovozov po dannym bortovykh mikroprotsessornykh sistem [The experience of monitoring locomotives according to onboard microprocessor systems]. *Nauka MIITa – transportu [The science of Moscow Institute of Railway Transport Engineers for transport]*, 2013. P. 234.
- Mel'nikov V.A. Metodicheskie podkhody k diagnostirovaniyu teplovozov serii 2TE116U po dannym MSU-TP [Methodological approaches to diagnosing diesel locomotives of the 2TE116U series according to MSU-TP]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona: Materialy pyatoi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 40-letiyu nachala stroitel'stva Baikalo-Amurskoi magistrali [Transport infrastructure of the Siberian region: Materials of the fifth international scientific-practical conference dedicated to the 40th anniversary of the start of construction of the Baikal-Amur Railway]*, 2014. Pp. 612.
- Abolmasov A.A., Mel'nikov V.A. Informatsionnye sredstva avtomatizirovannoi sistemy upravleniya nadezhnost'yu lokomotivov TMKh-Servis [Information tools of the TMX-Service Locomotive Automated Reliability Management System]. *Ekspluatatsionnaya nadezhnost' lokomotivnogo parka i povyshenie effektivnosti tyagi poezdov. Tezisy vtoroi vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Operational reliability of the locomotive fleet and increased train traction efficiency. Abstracts of the second All-Russian scientific and technical conference with international participation]*, 2014. Pp. 12.
- Mel'nikov V.A. Effektivnost' diagnostirovaniya teplovozov 2TE116U po dannym bortovykh mikroprotsessornykh sistem [The efficiency of diagnosing diesel locomotives 2TE116U according to onboard microprocessor systems]. *120 let zheleznodorozhnomu obrazovaniyu v Sibiri. Materialy vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [120 years of railway education in Siberia. Materials of the All-Russian scientific-practical conference with international participation]*, 2014. Pp. 87.
- Mel'nikov V.A. Algoritmicheskaya zashchita sovremennykh lokomotivov [Algorithmic protection of modern locomotives]. *Nauka MIITa – transportu [The science of Moscow Institute of Railway Transport Engineers for transport]*, 2014. Pp. 147.
- Mel'nikov V.A. Diagnostirovanie teplovozov po dannym bortovykh mikroprotsessornykh sistem [Diagnosis of diesel locomotives according to onboard microprocessor systems]. *Mir transporta [The world of transport]*, 2014. No. 3. Pp. 56–62.
- Mel'nikov V.A. Effektivnost' diagnostirovaniya teplovozov 2TE116U po dannym bortovykh mikroprotsessornykh sistem [Diagnostic efficiency of 2TE116U diesel locomotives according to on-board microprocessor systems]. *Perspektivy razvitiya servisnogo obsluzhivaniya lokomotivov. Tezisy pervoi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Prospects for the development of service of locomotives. Abstracts of the first international scientific-practical conference]*, 2014. P. 208.
- Grinenko V.I., Abolmasov A.A., Mel'nikov V.A. Monitoring tekhnicheskogo sostoyaniya lokomotivov po dannym ikh bortovykh mikroprotsessornykh sistem [Monitoring the technical condition of locomotives according to their onboard microprocessor systems]. *Zheleznodorozhnyi transport [Railway transport]*, 2015. No. 4. Pp. 71–74.
- Lipa K.V., Belinskii A.A., Pustovoi V.N., Lyangasov S.L. et al. Monitoring tekhnicheskogo sostoyaniya lokomotivov. Teoriya i praktika [Monitoring of the technical condition of locomotives. Theory and practice]. Moscow: OOO «Lokomotivnye tekhnologii» Publ., 2015. P. 212.
- Mel'nikov V.A. Primenenie metodov Data Mining dlya analiza rezhimov raboty lokomotiva [Mining methods for the analysis of locomotive operating modes]. *Nauka MIITa – transportu [The science of Moscow Institute of Railway Transport Engineers for transport]*, 2015. P. 156.
- Mel'nikov V.A., Lakin I.I., Abolmasov A.A. Algoritmicheskaya zashchita lokomotivov [Algorithmic protection of locomotives]. *Lokomotiv [Locomotive]*, 2015. No. 4. Pp. 8–10.
- Lakin I.K., Mel'nikov V.A., Gaba D.I. Analiz rezhimov raboty teplovozov 2TE116U po dannym bortovykh MSU [Analysis of the operating modes of 2TE116U diesel locomotives according to onboard MCS]. *Lokomotiv [Locomotive]*, 2015. No. 5. Pp. 34–36.



20. Lakin I.K., Abolmasov A.A., Mel'nikov V.A. Primenenie statisticheskikh metodov pri diagnostirovani teplovozov [The use of statistical methods for the diagnosis of diesel locomotives]. *Izvestiya Transsiba [Journal of Transsib Railway Studies]*, 2015. No. 1(21). P. 20.
21. Mel'nikov V.A. Ispol'zovanie korrelyatsionnogo analiza pri diagnostirovani teplovozov 2TE116U [The use of correlation analysis in the diagnosis of 2TE116U diesel locomotives]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona. Materialy shestoi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Transport infrastructure of the Siberian region. Materials of the sixth international scientific-practical conference]*. Irkutsk, 2015. Pp. 343–349.
22. Lakin I.K., Abolmasov A.A., Mel'nikov V.A. Primenenie statisticheskikh metodov pri diagnostirovani teplovozov [Application of statistical methods for the diagnosis of diesel locomotives]. *Izvestiya Transsiba [Journal of Transsib Railway Studies]*, 2015. No. 1(21). Pp. 20–28.
23. Subbotin R. N., Abolmasov A.A., Mel'nikov V.A. Analiz narabotki na neplanovyi remont teplovozov 2TE116 [Analysis of operating time for unplanned repair of diesel locomotives 2TE116]. *Perspektivy razvitiya servisnogo obsluzhivaniya lokomotivov. Materialy vtoroi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Moscow: OOO Lokomotivnye tekhnologii Publ., 2015. Pp. 297–308.
24. Lakin I.K., Plyaskin A.K., Mel'nikov V.A., Dmitriev S.A. Sovershenstvovat' tekhnologiyu reostatnykh ispytani teplovozov [Improve the technology of rheostatic tests of diesel locomotives]. *Lokomotiv [Locomotive]*, 2016. No. 5. Pp. 38–42.

Информация об авторах

Аболмасов Алексей Александрович – к. т. н., директор Департамента мониторинга технического состояния локомотивов и микропроцессорных систем ИЦ ООО «ЛокоТех». e-mail: a.a.abolmasov@tmh-service.ru.

Лисин Денис Олегович – генеральный директор ООО «Кlover Групп». e-mail: lisin.denis@clover.global.

Мельников Виктор Александрович – старший эксперт ООО «Кlover Групп», e-mail: melnikov.viktor@clover.global.

Authors

Aleksei Aleksandrovich Abolmasov – Ph.D. in Engineering Science, Director of Locomotive technical state monitoring and MCU department of EC of “LocoTech” OOO. e-mail: a.a.abolmasov@tmh-service.ru.

Denis Olegovich Lisin – Chief Executive Officer of “Clover Group” OOO. e-mail: lisin.denis@clover.global.

Viktor Aleksandrovich Mel'nikov – Senior Expert of “Clover Group” OOO. e-mail: melnikov.viktor@clover.global.

Для цитирования

Аболмасов А. А. Совершенствование методов диагностирования электрических машин локомотивов по данным микропроцессорных систем управления. А. А. Аболмасов, Д. О. Лисин, В. А. Мельников // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 69–75. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).69–75

For citation

Abolmasov A. A., Lisin D. O., Mel'nikov V. A. Sovershenstvovanie metodov diagnostirovaniya elektricheskikh mashin lokomotivov po dannym mikroprotsessornykh sistem upravleniya [Improving the methods of diagnosing electric machines of locomotives according to the data of microprocessor control systems]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]*, 2019. Vol. 63, No. 3, pp. 69–75. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).69–75

УДК 6-65-654:654.9:654.92:654.922

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).75–81

Н. Н. Климов, А. А. Ермаков, Д. Ю. Померанцев

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

Дата поступления: 04 июня 2019 г.

РАЗРАБОТКА АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ РЕЛЬСОВ НА БЕССТЫКОВОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ПУТИ

Аннотация. Проблема диагностики напряженного состояния бесстыкового пути существующая в настоящее время не обеспечивает контроль в реальном времени. Это приводит к выбросам пути, и в дальнейшем сходу поездов. В статье предлагается использовать для диагностики напряженного состояния бесстыкового пути изделие «Прочность», которое разработано группой сотрудников Томского политехнического института. Этот прибор позволяет определять спектр собственных колебаний бесстыкового пути, которые возникают в форме продольных, поперечных и изгибных волн рельсов, с целью определения их напряженного состояния. В работе приводятся формулы для различных типов волн и оценены их величины для бесстыкового пути в свободном состоянии. При измерениях частоты и скорости волн на бесстыковом пути зарегистрированы частоты в диапазоне от 300 до 5 500 Гц, а скорости от 719 до 3 300 м/с. Это указывает на возбуждение в рельсовом плети при боковом ударе поперечных и изгибных волн. Использование этого прибора возможно после проведения более детальных исследований напряженного состояния бесстыкового пути в условиях его растяжения, сжатия и при нулевых напряжениях набора видов спектра, которые будут изменяться в зависимости от реальных напряжений. При предположении, что выброс обусловлен возникающей изгибной волной с продолжительностью выброса порядка 0,2 с. и размерах половинны выброса порядка 40 м, это дает частоту 5 Гц, длину волны 80 м и, соответственно, скорость 400 м/с. Сравнение с оценкой скорости для данной частоты по формуле для изгибных волн дает величину порядка 100 м/с. Такая существенная разница демонстрирует, что теоретическое описание процесса выброса для реальных условий требует дополнительных исследований и измерений характеристик, определяющих механические свойства балластной призмы, рельсов, взаимодействия шпальной решетки с балластом.

Ключевые слова: напряженное состояние рельса, бесстыковый путь, скорости волн, диагностика, регистрации изгибных волн.