

На основании результатов предложена методика поиска параметров печати, позволяющая повысить размерную точность объекта печати при заданных характеристиках материала и размера. Данная методика может быть применена для повышения точности размеров объекта в процессах 3d-печати с технологией FDM.

В процессе 3d-печати с технологией FDM, когда известны материал и размеры объекта, параметры печати, такие как температура экструзии и степень заполнения, могут быть подобраны для повышения точности размеров изготавливаемых объектов 3d-печати на основе экспериментальных данных. Для этого были напечатаны образцы различных размеров при варьировании параметров печати – температуры экструзии и степени заполнения. Затем измерялась и анализировалась размерная погрешность объекта. Из результатов эксперимента следует, что при выборе соответствующих параметров печати размерная погрешность по оси z меньше или равна погрешности по осям x и y . Поэтому было установлено, что для обеспечения размерной точности на основе размеров объекта печати необходимо учитывать только размеры по осям x и y .

Экспериментально установлено, что различные материалы, из которых изготовлены филаменты, различные размеры печатных изделий, а также параметры печати влияют на размерную погрешность. Исследование проводилось путем измерения размерных погрешностей при печати образцов одинаковой формы, но разных размеров на 3d-принтере с технологией печати FDM с различными условиями печати. Учитывая геометрию изделий, получаемых в ходе 3d-печати, подбирается материал филамента для изготовления изделий с учетом свойств материала и размерной погрешности, которая была получена в ходе эксперимента. На основании экспериментальных данных можно сделать вывод о том, что печать с заданными параметрами позволяет повысить размерную точность процесса 3d-печати с технологией FDM.

Л и т е р а т у р а

1. Зленко, М. А. Аддитивные технологии в машиностроении : пособие для инженеров / М. А. Зленко, М. В. Нагайцев, В. М. Довбыш. – М. : ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.
2. Ahmad, B.; van der Veen, S.O.; Fitzpatrick, M.E.; Guo, H. Residual stress evaluation in selective-laser-melting additively manufactured titanium (Ti-6Al-4V) and inconel 718 using the contour method and numerical simulation. *Addit. Manuf.* 2018, 22, 571–582.
3. Михальченко, А. А. Исследование качества деталей из различных видов пластика, изготовленных методом FDM-печати / А. А. Михальченко // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 28–29 апр. 2022 г. В 2 ч. Ч. 1 / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2022. – С. 99–101.
4. Güler, T., Demirci, E., Yıldız, A. R., & Yavuz, U. (2018). Lightweight design of an automobile hinge component using glass fiber polyamide composites. *Materials Testing*, 60(3), 306–310.

УДК 629.423

ЦИФРОВОЕ РАЗВИТИЕ СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ

В. В. Невзоров

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Представлен анализ цифрового развития интеллектуальной системы управления локомотива для оценки в автоматическом режиме параметров с дальнейшим прогнозированием технического состояния локомотива.

Ключевые слова: цифровизация, локомотивное хозяйство, эффективность, предиктивная аналитика.

DIGITAL DEVELOPMENT OF LOCOMOTIVE SERVICING**V. V. Nevzorov***Belarusian State University of Transport, Gomel*

An analysis of the digital development of an intelligent locomotive control system is presented to evaluate parameters in automatic mode with further prediction of the technical condition of the locomotive.

Keywords: digitalization, locomotive economy, efficiency, predictive analytics.

К глобальным мегатрендам относятся повсеместная цифровизация любых процессов, демографические изменения по увеличению населения на земле, изменение климата, быстрая урбанизация и глобализация. Все эти тренды являются неотъемлемой частью Индустрии 4.0. В настоящее время и Белорусская железная дорога (БЖД) среди основных направлений развития локомотивного хозяйства в период с 2021 по 2025 г. определила обновление подвижного состава, оптимизацию системы обслуживания и ремонта локомотивов. С учетом современных требований к организации перевозочного процесса одним из важнейших перспективных направлений развития и повышения эффективности работы локомотивного хозяйства является создание оптимальных условий для улучшения качества обслуживания подвижного состава, в первую очередь – инновационного, с максимальным использованием существующих производственных площадей и технологического оборудования локомотивных депо.

Для этих целей подвижной состав оборудуется энергосберегающими системами автоведения, информирования, управления и регистраторами параметров движений [1].

Цель работы – проанализировать развитие интеллектуальных систем управления и информирования машиниста локомотива.

Локомотив – сложная машина, у нее около 7 тыс. конструктивных элементов. От их исправности и оперативности ремонта в случае поломки зависит не только возможность бесперебойной перевозки грузов и пассажиров, но и успешность БЖД, а также экономики Республики Беларусь в целом. При этом необходимо иметь в виду, что коэффициент готовности локомотива к эксплуатации (КГЭ), показывающий, сколько времени машина находится на линии и готова к работе, должен приближаться к 95 %. Поэтому внедрение проекта «Умный локомотив» позволит настроить систему предиктивной аналитики, которая проводит мониторинг технического состояния оборудования и прогнозирует отказы с указанием конкретного узла локомотива, оборудованного датчиками.

Локомотив в реализации концепции цифровизации оборудуется следующими системами:

- автоведения поездов с распределенной тягой и информирования машиниста;
- устройства безопасности;
- позиционирования и передачи данных с криптозащитой данных;
- интеллектуальной системой вождения поездов с распределенной тягой;
- блоком защиты БЗ;
- защиты от нарушений условий эксплуатации;
- автоматического запуска дизеля тепловоза;
- учета топлива и электроэнергии;
- регистрации и диагностики;
- управления тягой и тормозами;
- пожарной сигнализации и пожаротушения.

Для мониторинга технического состояния локомотивов применяется инновационный подход с использованием систем регистрации параметров, так называемыми бортовыми регистраторами. Они обеспечивают выполнение следующих функций:

- контроль технических параметров работы дизель-генераторной установки и другого оборудования;
- оценку соответствия паспортным значениям и требованиям действующих руководств по техническому обслуживанию и текущему ремонту;
- запись и хранение значений регистрируемых параметров на внутренний носитель памяти бортового комплекса;
- передачу данных, записанных на внутренний носитель памяти, на сервер локомотивного депо для сбора и обработки регистрируемых параметров.

Далее производится автоматизированная оценка технического состояния оборудования локомотива по следующим показателям:

- отклонение от фактических значений параметров от нормативных (настройка частоты вращения и мощности дизель-генератора по позициям контроллера, настройка реле переходов);
- отклонение фактических временных характеристик работы оборудования от средних статистических (относительное время работы вентиляторов охлаждения, компрессора);
- сообщения о невыполнении заданных функций.

Обслуживание по состоянию – инновационная модель сервиса, которая сочетает в себе большой перечень инструментов Индустрии 4.0.

При создании системы широко применяются такие сквозные технологии, как искусственный интеллект, большие данные, машинное обучение и промышленный интернет вещей. Это дает возможность оценивать и прогнозировать состояние узлов и агрегатов локомотива, отслеживать аномалии, в автоматическом режиме выводить информацию о технологическом состоянии оборудования и, как следствие, предсказывать неисправности локомотивов и оборудования между плановыми ремонтами.

Прогнозная аналитика с применением технологий искусственного интеллекта и нейронных сетей дала возможность управлять процессами технического обслуживания и ремонта в режиме реального времени, оценивать и прогнозировать техническое состояние узлов и агрегатов машин. При этом система предлагает наиболее оптимальное решение по времени и объему работ. Ремонтное подразделение локомотивного депо может планировать свою деятельность задолго до постановки машины на ремонт или обслуживание. Благодаря внедрению системы «Умный локомотив» в три раза снизились затраты на аварийный ремонт; на 15 % снизилось время простоя локомотивов на сервисном обслуживании; сократилось время диагностики с 4–5 часов до 30 минут.

Однако на этом развитие интеллектуального функционала системы «Умный локомотив» не останавливается. Он будет расширен функцией автоматического формирования графика ремонтов, в котором локомотивы будут распределяться на основании реального технического состояния, дислокации, пробега и загрузки самих депо. Как следствие, производительность локомотивного депо, по предварительным оценкам, увеличится дополнительно еще на 25 %.

Литература

1. Лакин, И. К. Использование технологии «цифровой двойник» при управлении ремонтом локомотивов / И. К. Лакин, А. П. Семенов // *Соврем. технологии. Систем. анализ. Моделирование.* – 2019. – № 3 (63). – С. 89–98.