DOI: 10.34220/ITRT2021_83-88

УДК 629.3.083.4

Пастухов А. Г.

д-р техн. наук, профессор, зав.
кафедрой технической механики и
конструирования машин
Белгородского государственного
аграрного университета
им. В.Я. Горина, РФ

Pastukhov A. G.

Dr. Sci. Tech., professor,
head of the department of technical
mechanics and machine design,
Belgorod State Agricultural
University named after V. Ya. Gorin,
Russian Federation

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ В НАДЕЖНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

DEVELOPMENT OF DIAGNOSTIC TECHNOLOGY IN A RELIABILITY-ORIENTED MAINTENANCE SYSTEM

Ключевые слова: диагностика, надежность-ориентированное техническое обслуживание, регистратор, температура.

Аннотация: в статье обоснована необходимость разработки технологии диагностирования, обеспечивающей эффективную реализацию надежность-ориентированной системы технического обслуживания автомобилей. Приведены результаты верификации аналитических моделей тепловыделения узлов механических трансмиссий, технология апробирована при стендовых и эксплуатационных испытаниях. Разработан способ диагностики, устройство – регистратор и программное обеспечение для реализации непрерывного термометрического контроля элементов механических трансмиссий.

Keywords: diagnostics, reliability-oriented maintenance, logger, temperature.

Annotation: the article substantiates the need to develop a diagnostic technology that ensures the effective implementation of a reliability-oriented car maintenance system. The results of verification of analytical models of heat generation of mechanical transmission units are presented, the technology is tested during bench and operational tests. A diagnostic method, a device – recorder and software for the implementation of continuous thermometric control of mechanical transmission elements have been developed.

Разработке теории, методов, средств и технологий технической диагностики посвящены многие научные исследования [1, 2]. В соответствии с ГОСТ 20911-89 «Техническая диагностика. Термины и определения» понятие алгоритма технического диагностирования представляется в двух проявлениях: условный алгоритм диагностирования и безусловный алгоритм диагностирования. В первом случае алгоритм включает заранее установленный перечень операций, во втором каждая последующая операция определяется результатами предыдущей.

Технология диагностирования может быть представлена в виде алгоритма или технологической карты. Традиционно диагностику считают составной частью технического обслуживания, основными задачами которой являются

обеспечение надежности, выявление причин неисправности и прогнозирование остаточного ресурса. Сложившаяся традиция диагностирования включает несколько основных технологий, зависящих от конкретных условий и целей диагностирования.

Существующая технология диагностирования, сопряженная с техническим обслуживанием, подразумевает поэтапную проверку: общее диагностирование с учетом показателей производительности и экономической эффективности, диагностирование агрегатов и систем, диагностирование механизмов и узлов, диагностирование отдельных деталей [3]. Такой подход имеет ряд существенных недостатков: отсутствие диагностирования при других этапах жизненного цикла, кроме технического обслуживания, высокая трудоемкость диагностических операций, производимых независимо от технического состояния машины. Этот подход применим в условиях планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта.

Разработка современной технологии диагностирования базируется на потенциальной возможности применения диагностики для всех без исключения этапов жизненного цикла изделия: проектирование, изготовление, эксплуатация, техническое обслуживание, хранение. Такой подход демонстрирует схожесть диагностики и надежности, как технических категорий, и еще больше подчеркивает связь этих явлений.

Диагностирование на этапе проектирования заключается в доводке опытных образцов отдельных агрегатов при стендовых испытаниях и лабораторных исследованиях. Диагностирование при изготовлении машин заключается во входном контроле качества покупных изделий и непрерывном контроле на всех этапах изготовления – от производства деталей до сборочных операций узлов, агрегатов и машин.

Технологии диагностирования разделяют на функциональные и тестовые. В первом случае диагностическая информация получается на основе результатов функционирования машины в эксплуатационных режимах. Тестовое диагностирование предполагает искусственное воздействие на объект диагностирования с целью получения информации о техническом состоянии. Тестовое диагностирование позволяет получать точную информацию, так как параметры искусственного воздействия известны. Функциональное диагностирование будет точным только при учете условий эксплуатации объекта диагностирования.

Тестовое диагностирование применяется на этапе проектирования, изготовления, технического обслуживания и хранения. Функциональная технология диагностирования используется на этапе эксплуатации (рис. 1).

Технологии диагностирования занимают важное место и играют ключевую роль в обеспечении системы надежно-ориентированного технического обслуживания [4]. В разделе 3 ГОСТ Р 27.606-2013 «Надежность в технике. Управление надежностью. Техническое обслуживание, ориентированное на безотказность» «Термины, определения и сокращения» приводятся 40 категорий из 19 относятся к технологии диагностирования. На рисунке 2 представле-

на схема, характеризующая значимость и место технической диагностики в системе надежно-ориентированного технического обслуживания.

Анализ схемы показывает возможность надежно-ориентированного технического обслуживания на этапе эксплуатации, в основе которой лежит техническая диагностика. При этом диагностика решает специализированные задачи на основе алгоритмов (технологий) условного и безусловного диагностирования. Ключевыми задачами диагностики, обеспечивающими

Рисунок 1 – Применение технологий диагностирования на этапах жизненного цикла изделия

Анализ схемы показывает возможность надежно-ориентированного технического обслуживания на этапе эксплуатации, в основе которой лежит техническая диагностика. При этом диагностика решает специализированные задачи на основе алгоритмов (технологий) условного и безусловного диагностирования. Ключевыми задачами диагностики, обеспечивающими реализацию надежно-ориентированной системы технического обслуживания, являются прогнозирование остаточного ресурса и оценка технического состояния.

Рисунок 2 – Место технической диагностики в надежно-ориентированной системе технического обслуживания

Таким образом, надежно-ориентированная система технического обслуживания и ремонта может быть реализована применением новой

Рисунок 2 – Место технической диагностики в надежно-ориентированной системе технического обслуживания

Таким образом, надежно-ориентированная система технического обслуживания и ремонта может быть реализована применением новой технологии диагностирования, основанной на комплексном применении инновационных методов и средств диагностирования.

Предлагаемая технология диагностирования основана на применении системного подхода для неразрушающего контроля элементов механических транс-

миссий методом термодиагностики [5-10]. Реализация технологии подразумевает использование существующих аналитических моделей тепловыделения фрикционных пар элементов механических трансмиссий, а также адаптацию этих моделей для применения к конкретным узлам и агрегатам трансмиссии [11, 12]. Например, для расчета температуры в зоне трения подшипниковых узлов карданных шарниров разработана прикладная компьютерная программа [13].

Для установления взаимосвязи между температурой в зоне трения и температурой на поверхности (диагностической температуры) диагностируемого элемента трансмиссии предлагается применить трехмерное моделирование и конечно-элементный анализ [14-17]. В результате моделирования и анализа получают карты температурных полей, на основании которых вычисляют коэффициент пропорциональности, который характеризует соотношение температуры в зоне трения и диагностической температуры.

Результаты теоретических исследований были верифицированы, а технология апробирована в условиях стендовых и эксплуатационных испытаний [18-20]. Реализация технологии термодиагностики определяется внедрением эффективных методов и средств. Для этого было разработано устройство, позволяющее производить непрерывный мониторинг технического состояния элементов трансмиссий в автоматическом режиме [21, 22]. Кроме этого была разработана компьютерная программа, обеспечивающая функционирование цифрового регистратора неисправности трансмиссии [23].

Разработанная технология неразрушающего термометрического контроля элементов механических трансмиссий позволит обеспечить непрерывное автоматическое диагностирование в системе надежно-ориентированного технического обслуживания. Технология обеспечена аналитическими методами определения температуры, верифицирована на основе стендовых и эксплуатационных испытаний и реализована с использованием устройства – регистратора неисправности трансмиссии и специального программного обеспечения.

Список литературы

1. Неразрушающий контроль и диагностика : Справочник / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, А. В. Ковалев и др. ; Под ред. В. В. Клюева. 2-е изд., испр. и доп. – М. : Машиностроение, 2003. – 656 с.
2. Техническая диагностика механического оборудования / Сидоров В. А., Кравченко В. М., Седуш В. Я. и др. – Донецк : Новый мир, 2003. – 125 с.
3. Михлин В. М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники. – М. : Колос, 1984. – 335 с.
4. Ефремов Л. В. Проблемы управления надежно-ориентированной технической эксплуатацией машин – СПб. Art-Xpress, 2015. – 206 с.
5. Патент № 2716721 С1 Российская Федерация, МПК F16D 3/16, F16C 11/06, G01M 13/04. Способ диагностирования подшипниковых узлов карданных шарниров : № 2019122664 : заявл. 15.07.2019 : опубл. 16.03.2020 / А. Г. Пастухов, Е. П. Тимашов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина».

6. Пастухов, А. Г. Технология термометрического неразрушающего контроля агрегатов механических трансмиссий / А. Г. Пастухов, Е. П. Тимашов // *Агроинженерия*. – 2020. – № 2 (96). – С. 33-39. – DOI 10.26897/2687-1149-2020-2-33-39.
7. Pastukhov, A. G. System approach to assessment of thermal stress of units of transmissions / A. G. Pastukhov, E. P. Timashov, T. V. Parnikova // *Applied Engineering Letters*. – 2017. – Vol. 2. – № 2. – P. 65-68.
8. Pastukhov, A. G. Method of diagnostics of cardan joints transport and technological machines / A. G. Pastukhov, E. P. Timashov // *Traktori i pogonske mašine*. – 2013. – Vol. 18. – № 2. – P. 29-35.
9. Пастухов, А. Г. Оценка теплонапряженности агрегатов трансмиссий на основе системного подхода / А. Г. Пастухов, Е. П. Тимашов // *Труды ГОСНИТИ*. – 2017. – Т. 129. – С. 73-78.
10. Pastukhov, A. G. Monitoring of reliability of agricultural machinery on the basis of methods of thermodiagnosics of drive lines / A. G. Pastukhov, E. P. Timashov, T. V. Parnikova // *Traktori i pogonske mašine*. – 2017. – Vol. 22. – No 1-2. – P. 31-38.
11. Pastukhov, A. G. Analytical model of temperature condition elementary interface of the cardan joint / A. G. Pastukhov, E. P. Timashov // *Traktori i pogonske mašine*. – 2018. – Vol. 23. – No 1-2. – P. 43-50.
12. Пастухов, А. Г. Оценка надежности карданных шарниров на основе аналитических моделей теплонапряженности / А. Г. Пастухов, Е. П. Тимашов // *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. – 2017. – № 8. – С. 43-48.
13. Калькулятор температуры в зоне трения подшипниковых узлов карданных шарниров : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2021612821 / Е. П. Тимашов, А. Г. Пастухов ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО БелГАУ им. В. Я. Горина ; заявл. 12.02.2021 ; опубл. 25.02.2021. – 108 КБ.
14. Pastukhov, A. G. Numerical modelling of temperature condition the cardan joint at bench tests / A. G. Pastukhov, E. P. Timashov // *Traktori i pogonske mašine*. – 2019. – Vol. 24. – № 1-2. – P. 39-47.
15. Тимашов, Е. П. Моделирование температурного режима подшипникового узла карданного шарнира / Е. П. Тимашов // *Инновации в АПК : проблемы и перспективы*. – 2019. – № 2 (22). – С. 87-100.
16. Пастухов, А. Г. Обеспечение реализации цифровых систем диагностирования элементов трансмиссии на основе тепловыделения / А. Г. Пастухов, Е. П. Тимашов // *Технический сервис машин*. – 2019. – № 4 (137). – С. 68-75.
17. Пастухов, А. Г. Метод конечных элементов в системе термодиагностики шарниров карданных передач / А. Г. Пастухов, Е. П. Тимашов // *Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 30-летию кафедры технической механики конструирования машин, Майский, 24 января 2018 года / Редакционная коллегия : С. В. Стребков (председатель), А. Г. Пастухов (заместитель председателя), А. П. Слободюк, Д. Н. Бахарев, Н. В. Водолазская, А. С. Колесников, И. Ш. Бережная, О. А. Шарая, А. Г. Минасян, Компьютерная верстка : Д. Н. Бахарев, Н. В. Водолазская, А. С. Колесников. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина, 2018. – С. 373-378.*
18. Adaptivity of thermal diagnostics method of mechanical transmission assemblies / A. Pastukhov, E. Timashov, I. Kravchenko, T. Parnikova // *Engineering for rural development, Jelgava, 20-22 мая 2020 года. – Jelgava: Latvia University of Life Sciences and Technologies, 2020. – P. 107-113. – DOI 10.22616/ERDev2020.19.TF024.*
19. Pastukhov A. Assessment of operability of maintainable crosspiece / A. Pastukhov, E. Timashov, T. Parnikova // *Engineering for Rural Development, Jelgava, 22-24 мая 2019 года. – Jelgava : Latvia University of Life Sciences and Technologies, 2019. – P. 1736-1741. – DOI 10.22616/ERDev2019.18.N032.*

20. Тимашов, Е. П. Термометрическая диагностика карданного шарнира привода жатки Cegio 770 / Е. П. Тимашов, А. П. Тимашов, А. А. Миненко // Инновации в АПК : проблемы и перспективы. – 2020. – № 2 (26). – С. 94-105.

21. Патент на полезную модель № 199665 U1 Российская Федерация, МПК G01K 13/08. Регистратор неисправности элементов трансмиссии: № 2020109542 : заявл. 04.03.2020 : опубл. 14.09.2020 / Е. П. Тимашов, А. Г. Пастухов, О. В. Тимашова ; заявитель Автономная некоммерческая организация высшего образования «Белгородский университет кооперации, экономики и права».

22. Тимашов, Е. П. Регистратор неисправности агрегатов трансмиссии / Е. П. Тимашов, А. А. Серегин // Инновации в АПК : проблемы и перспективы. – 2020. – № 4 (28). – С. 87-94.

23. Регистратор неисправности трансмиссии : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2021612850 / Е. П. Тимашов, А. Г. Пастухов, О. В. Тимашова ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО БелГАУ им. В. Я. Горина ; заявл. 12.02.2021 ; опубл. 25.02.2021. – 1,69 МБ.