

УДК 631.171

Чернышев Денис Олегович, кандидат технических наук, доцент Высшей школы транспортно-технологических систем, Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург, Россия

Журавель Никита Евгеньевич, студент Уральского государственного горного университета, УГГУ, г. Екатеринбург, Россия

**РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ
ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ НА ОСНОВЕ
ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

Аннотация

В статье рассматривается концепция цифрового мониторинга технического состояния электронных систем лесозаготовительных машин на основе телеметрических данных. Проведен анализ существующих подходов к диагностике оборудования, выявлены их ограничения и предложена архитектура цифровой системы мониторинга [2, с.137; 5, с.84], обеспечивающей непрерывный сбор, обработку и анализ эксплуатационных данных. Разработан алгоритм оценки технического состояния, основанный на расчете интегрального коэффициента исправности по совокупности диагностических параметров. Предложенная система ориентирована на повышение надежности эксплуатации лесозаготовительной техники, снижение количества аварийных отказов и переход к техническому обслуживанию по фактическому состоянию оборудования.

Annotation

The article discusses the concept of digital monitoring of the technical condition of electronic logging machinery systems based on telemetry data. The analysis of existing approaches to equipment diagnostics has been carried out, their limitations have been identified, and the architecture of a digital monitoring system [2, p. 137; 5, p. 84] has been proposed that ensures continuous collection, processing, and analysis of operational data. An algorithm for assessing the technical condition

based on the calculation of the integral coefficient of serviceability based on a set of diagnostic parameters has been developed. The proposed system is aimed at improving the reliability of logging equipment operation, reducing the number of emergency failures and switching to maintenance based on the actual condition of the equipment.

Ключевые слова: цифровизация, лесозаготовительная машина, телеметрия, техническое состояние, мониторинг, CAN-шина, электронные системы, диагностика, предиктивное обслуживание.

Keywords: digitalization, logging machine, telemetry, technical condition, monitoring, CAN bus, electronic systems, diagnostics, predictive maintenance.

Современные лесозаготовительные машины представляют собой сложные мехатронные комплексы [3, с.15; 4, с.22], объединяющие механические, гидравлические и электронные системы. Электронные блоки управления обеспечивают работу двигателя, гидравлического оборудования, трансмиссии и исполнительных механизмов, а также взаимодействуют между собой посредством цифровых шин передачи данных. Рост уровня автоматизации повышает производительность техники, однако одновременно увеличивает требования к контролю ее технического состояния.

На практике техническое обслуживание лесозаготовительных машин преимущественно выполняется по регламенту либо после возникновения отказа. Такой подход приводит к увеличению времени простоя техники и затрат на ремонт. Одним из перспективных направлений развития является внедрение цифровых систем мониторинга, позволяющих непрерывно контролировать параметры оборудования и своевременно выявлять признаки неисправностей.

Целью настоящей работы является разработка концепции цифровой системы мониторинга технического состояния электронных систем лесозаготовительной машины на основе телеметрических данных.

Современные телематические системы позволяют получать сведения о местоположении техники, расходе топлива, моточасах и диагностических

кодах неисправностей [7, с.12]. Однако большинство из них ориентировано на регистрацию информации, а не на интеллектуальный анализ состояния оборудования.

Основными недостатками существующих решений являются отсутствие комплексной оценки технического состояния, невозможность раннего выявления деградации электронных компонентов и ограниченная поддержка принятия решений при техническом обслуживании [9, с.1494].

Для устранения этих недостатков предлагается использовать интегральную оценку технического состояния на основе нескольких диагностических параметров, поступающих в режиме реального времени от электронных блоков управления.

Предлагаемая система состоит из пяти функциональных уровней [6, с.18]:

- Датчики и электронные блоки управления машины.
- Бортовой телематический контроллер.
- Канал передачи данных по мобильной сети.
- Облачная платформа хранения и обработки информации.
- Рабочее место инженера с модулем анализа технического состояния

Рисунок 1 – Архитектура цифровой системы мониторинга



Ключевым элементом предлагаемой цифровой системы является алгоритм обработки телеметрической информации, обеспечивающий автоматическую оценку технического состояния электронных систем лесозаготовительной машины. В отличие от традиционных методов диагностики, основанных на анализе отдельных параметров или кодов

неисправностей, предложенный алгоритм использует совокупность эксплуатационных данных, поступающих от различных электронных блоков управления [9, с.1489].

Алгоритм функционирования системы включает следующие этапы:

- Сбор телеметрической информации от датчиков и электронных блоков управления.
- Передача данных по CAN-шине в телематический контроллер.
- Предварительная фильтрация и проверка корректности измерений.
- Нормирование диагностических параметров.
- Расчет интегрального коэффициента технического состояния.
- Формирование рекомендаций оператору и сервисному инженеру.

Рисунок 2 – Алгоритм обработки телеметрических данных



Использование данного алгоритма позволяет сократить объем информации, анализируемой оператором, и представить результат диагностики в виде единого интегрального показателя.

Для демонстрации работы алгоритма рассмотрим условный пример эксплуатации харвестера в течение рабочей смены.

Полученные телеметрические данные показали повышение температуры гидравлического масла до 73 °С при допустимом значении 65 °С, снижение давления в гидросистеме до 24 МПа при нормативном значении 26 МПа и регистрацию двух диагностических сообщений электронного блока управления. Остальные параметры находились в допустимых пределах.

После обработки информации системой был рассчитан интегральный коэффициент технического состояния:

$$K_{тс} = 0,79$$

Полученное значение соответствует работоспособному состоянию машины, однако указывает на необходимость проведения плановой диагностики гидравлической системы и проверки состояния гидронасоса.

Использование подобного подхода позволяет обнаружить ухудшение технического состояния оборудования до возникновения отказа, что способствует снижению времени простоя техники и затрат на ремонт.

Рисунок 3 – Поток обработки данных в цифровой системе



Предлагаемая система мониторинга может быть внедрена на лесозаготовительных машинах различных производителей без существенного изменения существующей конструкции [5, с.175]. Основным источником информации являются штатные электронные блоки управления и датчики, взаимодействующие посредством CAN-шины.

Использование телематического контроллера позволяет осуществлять непрерывный сбор диагностической информации, ее передачу в облачную платформу и последующий анализ. Полученные результаты могут использоваться инженерами сервисных служб при планировании технического обслуживания, а также руководителями предприятий для оценки технической готовности парка машин.

Применение цифрового мониторинга обеспечивает:

- Сокращение времени выявления неисправностей;
- Повышение оперативности принятия решений;
- Снижение вероятности внезапных отказов;
- Повышение коэффициента технической готовности машин;

- Накопление базы эксплуатационных данных для последующего анализа.

Таблица 1 – Сравнение существующих и предлагаемой системы

Функция	Стандартные телематические системы	Предлагаемая система
Контроль местоположения	+	+
Передача диагностических сообщений	+	+
Хранение эксплуатационных данных	+	+
Анализ тенденций изменения параметров	±	+
Комплексная оценка технического состояния	–	+
Поддержка принятия решений при обслуживании	–	+

В работе предложена концепция цифровой системы мониторинга технического состояния электронных систем лесозаготовительной машины, основанная на непрерывном сборе и анализе телеметрической информации. Выполнен анализ существующих решений, позволивший выявить ограничения традиционных систем мониторинга, связанные с недостаточной поддержкой процессов диагностики и технического обслуживания.

Разработанная архитектура объединяет электронные блоки управления машины, телематический контроллер, облачную платформу и аналитический

модуль, обеспечивая централизованный сбор и обработку эксплуатационных данных. Предложенный алгоритм обработки информации позволяет формировать рекомендации по техническому обслуживанию на основе комплексного анализа диагностических параметров.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования предложенной системы для повышения надежности эксплуатации лесозаготовительной техники, сокращения времени простоев и формирования единой цифровой базы эксплуатационных данных. В дальнейшем результаты работы могут быть использованы при разработке интеллектуальных систем прогнозирования отказов и реализации концепции предиктивного технического обслуживания.

Список литературы

1. Иванов В. А., Петров С. Н. Цифровизация технологических процессов лесозаготовительного производства // Лесотехнический журнал. 2023. № 4. С. 95–106.
2. Соколов А. В., Кузнецов П. И. Применение телематических систем в лесозаготовительных машинах // Известия вузов. Лесной журнал. 2022. № 6. С. 132–144.
3. Бартенев И. М., Попиков П. И. Машины и оборудование лесного комплекса. Воронеж: ВГЛТУ, 2021. 412 с.
4. Бартенев И. М. Надежность лесных машин. Воронеж: ВГЛТУ, 2020. 356 с.
5. Попиков П. И., Драпалюк М. В. Автоматизация технологических процессов лесного комплекса. Воронеж: ВГЛТУ, 2022. 298 с.
6. ISO 11898-1:2015. Road vehicles — Controller Area Network (CAN).
7. ISO 15143-3:2020. Earth-moving machinery and mobile equipment — Telematics.
8. Lee J., Bagheri B., Kao H.-A. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems // Manufacturing Letters. 2015. Vol. 3. P. 18–23.
9. Jardine A. K. S., Lin D., Banjevic D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance // Mechanical Systems and Signal Processing. 2006. Vol. 20. P. 1483–1510.
10. Carvalho T. P. et al. A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance // Computers & Industrial Engineering. 2019. Vol. 137.