

Gordeev Vladislav Vladimirovich, leading researcher of the Department of Agroecology in Livestock Production, candidate of engineering science, Assistant Professor. Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of FSAC VIM (Russian Federation, 196634, Saint Petersburg, Tiarlevo, Filtrovskoje Sh., 3).

Kovalev Sergey Vladimirovich, junior researcher of the Department of Agroecology in Livestock Production, graduate student, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of FSAC VIM (Russian Federation, 196634, Saint Petersburg, Tiarlevo, Filtrovskoje Sh., 3).

Gordeeva Tatiana Ivanovna, senior researcher of the Department of Agroecology in Livestock Production, candidate of engineering science, Assistant Professor, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Russian Federation, 196634, Saint Petersburg, Tiarlevo, Filtrovskoje Sh., 3).

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-54

CONCEPTUAL MODEL OF METHODOLOGY FOR PREDICTIVE MAINTENANCE OF AGRICULTURAL MACHINERY

V. M. Pomogaev

*Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin
Omsk, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: vm.pomogaev@omgau.org

Received 30.10.2023

Submitted 21.11.2023

Summary

The article presents the results of a study of the stages of development of maintenance and repair strategies and their promising forms, taking into account the development of digital technologies. Predictive MRO methodology seems to be an intermediate form on the path to the establishment of predictive and prescriptive MRO strategies. The goal of the methodology is to minimize operating costs and increase machine reliability. A six-level conceptual model for implementing predictive maintenance and repair methodology is proposed.

Abstract

Introduction. Technical services, and in particular the maintenance and repair of agricultural machinery, ensure the reliability of one of the key business assets – agricultural machinery. The use of digital technologies in this area allows the use of advanced strategies based on big data processing and predictive analytics. Predictive maintenance of machines, taking into account trends in technical re-equipment and the specifics of agricultural production, can become a key methodology for maintenance and repair. The proposed conceptual model of predictive maintenance for agricultural machinery allows us to identify practical steps for the development and implementation of this methodology. **Object.** Maintenance and repair system. **Materials and methods.** The work used methods of system analysis and modeling, theories: management; decision making; operations research; design of large software and information systems; content – literature analysis. The study and design of the concept is based on the scientific works of domestic and foreign scientists, GOSTs, as well as reliability and quality methodologies RCM, Kaizen, TQC, etc. **Results and conclusions.** As a result of the study, it was found that the implementation of the software methodology leads to a reduction in machine downtime, an increase in their reliability, and a reduction in operating costs. Analysis of scientific research allows us to identify three tasks, the solution of which precedes the implementation of software: determining the system architecture; determining goals and objectives based on the owners' strategy; identifying approaches and techniques to achieve the best MRO results. A conceptual software model is proposed, which includes 6 layers and a set of actions, allowing for the detection and identification of previous and incipient faults of machine components and assemblies, monitoring and forecasting the development of degradation of parts and technical condition as a whole, as well as providing decision support in the MRO process or development automation maintenance schedules.

Key words: *predictive maintenance of agricultural machines, big data processing, IoT technologies, agricultural machines, digital technologies.*

Citation. Pomogaev V. M. Conceptual model of methodology for predictive maintenance of agricultural machinery. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 538-547 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-54.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.173:004.048

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ МЕТОДОЛОГИИ ПРОГНОЗНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

В. М. Помогаев, кандидат экономических наук, доцент

*Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина
г. Омск, Российская Федерация*

Актуальность. Технический сервис, и в частности техническое обслуживание и ремонт сельскохозяйственных машин, обеспечивают надежность одного из ключевых активов бизнеса – сельскохозяйственных машин. Применение в этой сфере цифровых технологий позволяет использовать передовые стратегии, основанные на обработке больших данных и предиктивной аналитике. Прогнозное обслуживание машин, с учетом тенденций технического перевооружения и специфики сельскохозяйственного производства, может стать ключевой методологией технического обслуживания и ремонта. Предложенная концептуальная модель прогнозного обслуживания (ПО) для сельскохозяйственных машин позволяет определить практические шаги для развития и внедрения этой методологии. **Объект.** Объектом исследования является система технического обслуживания и ремонта в сельском хозяйстве. **Материалы и методы.** В работе использованы методы системного анализа и моделирования, теорий: управления; принятия решений; исследования операций; проектирования больших программно-информационных систем; контент – анализа литературы. В основу изучения и проектирования концепции положены научные труды отечественных и зарубежных ученых, ГОСТы, а также методологии надежности и качества RCM, Кайдзен, TQC и др. **Результаты и выводы.** В результате исследования было установлено, что реализация методологии ПО приводит к сокращению времени простоя машин, повышению их надежности, снижению эксплуатационных расходов. Анализ научных исследований позволяет выделить три задачи, решение которых предшествует внедрению ПО: определение архитектуры системы; определение целей и задач исходя из стратегии собственников; определение подходов и методик для достижения наилучшего результата ТОиР. Предложена концептуальная модель ПО, включающая 6 слоев и набор действий, позволяющий осуществлять обнаружение и идентификацию предшествующих и зарождающихся неисправностей узлов и агрегатов машин, мониторинг и прогнозирование развития деградации деталей и технического состояния в целом, а также обеспечение поддержки принятия решений в процессе ТОиР или автоматизацию разработки графиков ТО.

Ключевые слова: прогнозное обслуживание сельскохозяйственных машин, обработка больших данных, технологии интернета вещей, сельскохозяйственные машины, цифровые технологии.

Цитирование. Помогаев В. М. Концептуальная модель методологии прогнозного обслуживания сельскохозяйственных машин. *Известия НВ АУК.* 2023. 4(72). 538-547. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-54.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данной статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В последние годы все чаще говорят о формировании концепции развития сельского хозяйства – «Сельское хозяйство 4,0» [1], где базовыми технологиями являются обработка больших данных, технологии интернета вещей (IoT-устройства, сенсоры) и т.д. Все больше начинает производиться сельскохозяйственных машин, оснащенных сложными электронными системами и системами бортовой диагностики.

Использование в сельхозмашиностроении и в сельском хозяйстве сенсоров, датчиков и IoT-устройств позволяет собирать огромное количество данных, что само по себе открывает большие возможности в их использовании для анализа и прогнозирования [2]. Благодаря таким технологиям было сформировано множество различных подходов к организации и управлению ТОиР – проактивная стратегия, прогнозное обслуживание и т.д. [3, 4, 5]. Есть определенные исследования на эту тему в сельском хозяйстве [6, 7, 8], однако они пока недостаточно систематизированы, а глубина их не позволяет сформулировать практические подходы и рекомендации для организации ТОиР в сельскохозяйственных предприятиях. К тому же особенности отрасли наложили отпечаток на темпы внедрения и использования цифровых технологий. Во-первых, это влияние природных факторов в реальных условиях эксплуатации, что существенно затрудняет построение моделей отказов и прогнозов технического состояния (непредсказуемое внешнее воздействие, ускоряющее износ и пр.). Во-вторых, это сезонный интенсивный характер загрузки машин, когда техника длительный период находится на полях, а выездная диагностика не может обеспечить необходимый уровень технического контроля.

Таким образом, важной научно-практической задачей является определение путей развития системы ТОиР в условиях активного внедрения цифровых технологий, а также способов обеспечения надежности и работоспособности сельскохозяйственных машин с оптимальными издержками. Цель исследования: разработка концептуальной модели реализации методологии прогнозного обслуживания сельскохозяйственных машин.

Материалы и методы. В соответствии с ГОСТР 27.601-2011 понятие стратегии ТО определяется, как «общий подход к обеспечению ТО и его поддержке исходя из целей и стратегии владельцев, пользователей и заказчиков. Она влияет на решения, принятые по мероприятиям ТО и ресурсам, выделяемым в течение всего жизненного цикла изделия». Можно сказать, что стратегия ТОиР включает совокупность методов управления, направленных на обеспечение надежности машин оптимальными средствами. Исследование позволило выявить этапы развития стратегий ТОиР и предложить их перспективные формы (рисунок 1).



Рисунок 1 – Эволюция стратегий ТОиР
Figure 1 – Evolution of MRO strategies

Переход от реактивной стратегии (РС) к планово-предупредительной стратегии (ППР) был по своему революционным. Однако даже на сегодняшний день РС остается значимой стратегией в сельскохозяйственных предприятиях не только России. Доминирующей стратегией является ППР. Во многом это связано с политикой производителей машин, которые стремятся обеспечить управление жизненным циклом машин на этапе эксплуатации жесткими регламентами обслуживания (зачастую с принудительной блокировкой машин), что приводит к существенному росту стоимости обслуживания.

Стремление найти баланс между обеспечением надежности машин и стоимостью ТОиР стимулирует развитие отдельных методологий ТОиР и применение практик из других сфер экономики (надежностно-ориентированное техническое обслуживание (RCM), Кайдзен, TQC (Total quality control) и др.).

Использование технологий интернета вещей, больших данных, предсказательной аналитики позволили сформироваться еще одной методологии ТОиР – прогнозное обслуживание. В зарубежной литературе оно чаще обозначается как системы предиктивного технического обслуживания (PdM) или проактивная стратегия (PrCO) [9, 10, 11]. Построение прогнозов на основе исторических данных или на основе данных сенсоров в процессе эксплуатации (более продвинутый метод) позволили повысить уровень эксплуатации отдельных деталей и узлов. Для подвижного железнодорожного состава, например, объем операций ТОиР, определяемый на основе предсказательных моделей, уже достигает порядка 60% [12]. На основе прогнозных моделей определяют срок службы узлов и агрегатов, периодичность диагностики, профилактики и ремонта.

В целом суть методологии ПО заключается в обеспечении управления надежностью машин на этапе ЖЦ (эксплуатация) с целью предупреждения отказов при максимальной наработке и обеспечения качества эксплуатации на предельных параметрах на основе информационных, интеллектуальных и цифровых технологий.

Выделение прогнозного обслуживания в самостоятельную стратегию (наравне с ППР или РС, в сельском хозяйстве возможно при высоком уровне автоматизации контроля эксплуатационных параметров и планирования ТОиР, когда фактически машина самостоятельно «заказывает» то или иные обслуживающие, ремонтное воздействие в условиях непрерывного контроля и мониторинга технического состояния).

Можно выделить ряд барьеров на пути реализации предсказательной стратегии ТОиР в сельском хозяйстве:

1. Недостаточный уровень оснащения сельскохозяйственных машин устройствами контроля технического состояния, отсутствие единых стандартов бортовой связи.
2. Ограниченность зоны покрытия связью в сельской местности (важно для развития архитектуры).
3. Низкий уровень использования информационных систем в сельском хозяйстве (системы EAM, ERP и т.д.), позволяющих документировать и хранить данные о сельскохозяйственных машинах (СМ).
4. Сельскохозяйственные машины – это сложный технологический комплекс, эксплуатирующийся в неблагоприятной среде. Соответственно, при прогнозировании необходимо учитывать множество слабоструктурированных параметров.
5. Кадровый состав эксплуатирующих служб и служб ТОиР мало подготовлен к использованию цифровых технологий.
6. Рынок ИТ-услуг для сельского хозяйства не сформировался в полной мере, недостаточно качественных и недорогих ИТ-решений.
7. Ремонтно-техническая база в сельскохозяйственных предприятиях, как правило, слабо подготовлена для обслуживания сложной техники. В гарантийный период СМ обслуживаются у дилера (информация о состоянии машины хранится у них). В после гарантий-

ный период работы выполняются за частую самостоятельно либо на сторонних сервисах (информация о состоянии машины храниться у них, либо не собирается). В этих условиях оцифровать данные о состоянии машин либо невозможно, либо крайне затруднительно.

8. Реализация цифровых решений и модернизация МТБ является дорогостоящим инвестиционным проектом, что отталкивает многих собственником, особенно владельцев небольших предприятий и фермерских хозяйств.

Однако с каждым годом ситуация меняется. Объем данных, генерируемых электронными устройствами и датчиками самоходных сельскохозяйственных машин (которые зачастую уже установлены штатно), становится все больше. Это, как показывает опыт других отраслей, открывает новые возможности в повышении уровня интеллектуальности ТОиР. Кроме того, растёт зона покрытия связью, адаптируются к сельскому хозяйству ИТ-решения из других отраслей.

Представляется обоснованным на переходном этапе сформировать условия для обеспечения сбора информации из всех источников на цифровой платформе, аффилированной с владельцем машин. Так, в работе [13], например, предлагается для обеспечения условий развития и расширения прогностических стратегий в сельском хозяйстве собирать ИТ-артефакты на единой платформе, поскольку данных с датчиков сейчас для построения достоверных прогнозных моделей недостаточно.

Результаты исследования. Методология ПО развивается уже много лет, но только недавно цифровые технологии стали казаться достаточно эффективными и недорогими, чтобы сделать ПО широкодоступным. ПО обычно включает в себя мониторинг состояния, диагностику неисправностей, прогнозирование неисправностей и ТОиР.

У используемых интеллектуальных технологий есть потенциал для обнаружения и идентификации предшествующих и зарождающихся неисправностей узлов и агрегатов машин, мониторинга и прогнозирования развития деградации узлов и агрегатов, а также обеспечения поддержки принятия решений в процессе ТОиР и автоматизации разработки графиков ТО. Ниже представлен перечень технологий, лежащих в основе развития ПО.

1) IoT для сбора данных. IoT инфраструктура позволяет собирать непрерывно увеличивающийся объем данных с множества датчиков, установленных на машинах.

2) Анализ больших данных. Методы анализа и обработки больших данных произвели революцию в интеллектуальном обслуживании, превратив большие машинные данные в полезную информацию (очистка, преобразование, извлечение и объединение признаков и т.д.). ПО позволяет снизить частоту обслуживания настолько, насколько это возможно, чтобы предотвратить незапланированные ремонты, с одной стороны, и выполнения слишком большого количества плановых работ, с другой.

3) Методы глубокого обучения (DL) и глубокое обучение с подкреплением (DRL). В последние годы разрабатывается и совершенствуется огромное количество подходов DL для диагностики неисправностей и прогнозирования. Большее количество слоев и нейронов в сети DL позволяет обеспечивать точную диагностику неисправностей и прогнозирование (например, прогнозирование остаточного срока полезного использования). Прорыв в DRL и его вариантах обеспечивает эффективное управление сложными техническими системами.

4) Высокопроизводительное аппаратное обеспечение. Мощное аппаратное обеспечение, может значительно ускорить процесс эволюции технологий и их внедрение при реализации ПО и ПрСО.

Очевидно, что реализация ПО приводит к сокращению времени простоя машин, повышению их надежности, снижению эксплуатационных расходов. При реализации методологии ПО возникает новый класс задач. Анализ ряда исследований позволяет выделить три задачи, решение которых предшествует внедрению ПО (рисунок 2) [14].

Широкое обсуждение в литературе получила архитектуры систем ПО. С развитием технологий индустрии 4.0 на практике реализовались цифровые методы измерения, дистанционная передача данных, облачные вычисления и т.д. Разрабатываемая архитектура системы ПО должна быть совместима с различными стандартами и протоколами, легко интегрироваться с новыми технологиями, удовлетворять ключевым требованиям ПО (сбор данных, диагностика неисправностей и прогнозирование и т. д.).

Цели ПО конституированы в балансе двух категорий – стоимость и надежность. Вместе с тем широко обсуждаются модели баланса этих целей, оптимизация их в условиях конкретных технических систем. Кроме того, специфика ПО различна в разных отраслях для различного класса технических систем, а следовательно, и подходы к диагностике неисправностей и прогнозированию должны разрабатываться и адаптироваться к конкретным проблемам. Это, в свою очередь, порождает требования к архитектуре ПО, которая тоже должна иметь свои показатели эффективности и экономичности.



Рисунок 2 – Таксономия научных исследований по теме прогнозного обслуживания и схема концептуализация предметной области

Figure 2 – Taxonomy of scientific research on the topic of predictive maintenance and conceptualization scheme of the subject area

Наиболее динамичной областью исследований являются подходы к диагностике и прогнозированию отказов. Существующие подходы широко варьируются в зависимости от используемых алгоритмов, таких как алгоритмы на основе искусственных нейронных сетей (ANN), метод опорных векторов (SVM), автоматический кодировщик и сверточная нейронная сеть (CNN) и др. Наиболее широко используются подходы и методы, сосредоточенные на следующих направлениях:

- Модели классификации для выявления ранних стадиях деградации.

– Обнаружение паттернов. Этот тип подходов позволяет выявлять аномальное поведение, несмотря на отсутствие каких-либо предварительных сведений об ошибках, отсутствие статистических данных, физических моделей износа и пр.

– Регрессионные модели для прогнозирования остаточного ресурса (RUL). Подход направлен на прогнозирование RUL в соответствии с процессом деградации, который учится на исторических данных.

В итоге концептуальная модель прогнозного обслуживания для сельскохозяйственных машин может иметь следующий вид (рисунок 3).

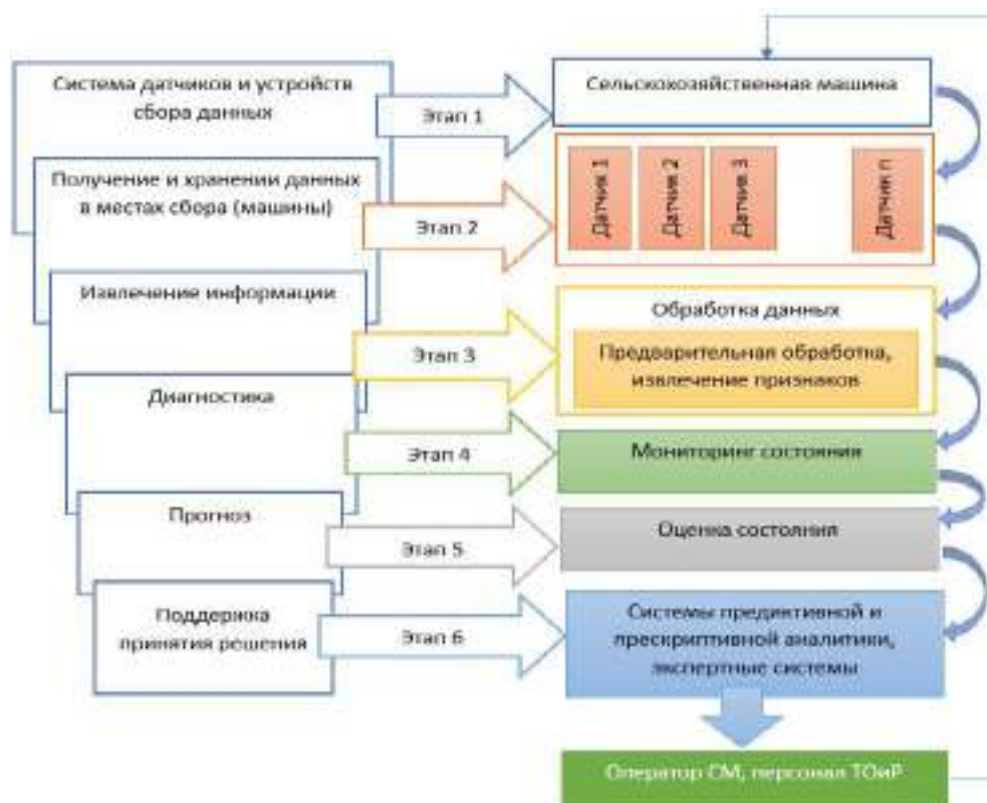


Рисунок 3 – Концептуальная модель прогнозного обслуживания для сельскохозяйственных машин

Figure 3 – Conceptual model of predictive maintenance for agricultural machinery

Этап 1: Датчики, установленные на сельскохозяйственных машинах, передают сигналы напрямую или через преобразователь в модуль обработки сигналов.

Этап 2: Выходные данные модуля обработки сигналов представляют собой данные датчиков, прошедших преобразование через цифровую фильтрацию, частотные спектры, демодуляцию исходного сигнала и т.д. Обработка сигналов осуществляется алгоритмами либо непосредственно на машине, либо в облачном сервисе или на стационарном ПК, в зависимости от архитектуры системы мониторинга.

Этап 3: Процесс мониторинга состояния – непрерывного наблюдения, осуществляется с целью, сравнить полученные данные с установленными значениями. Система мониторинга, в случае отклонения параметров, генерирует оповещения для операторов машин или для специалистов ТОиР о появлении эксплуатационных ограничений.

Этап 4: Диагностика технического состояния СМ или отдельных их элементов осуществляется на основе данных мониторинга технического состояния. Основная цель – оценка работоспособности. Данный модуль оценки работоспособности диагностирует

состояние, осуществляет записи диагностических параметров и указывает на возможные неисправности. Диагноз основывается на тенденциях в истории диагностических параметров, рабочем состоянии, а также истории нагрузки и технического обслуживания.

Этап 5: Прогнозирование технического состояния важнейший этап ПО, который использует данные всех предыдущих этапов. Основная цель прогнозирования – рассчитать будущее состояние работоспособности с учетом текущих внешних и внутренних факторов и оставшийся срок полезного использования (RUL).

Этап 6: Элементы архитектуры поддержки принятия решений получают данные от модулей диагностики и прогнозирования. Основная цель – поддержка принятия управленческих решений и формирование технических рекомендаций. Решения могут относиться как к техническому обслуживанию (формирование графиков, управлением складом запасных частей и т.д.), так и к эксплуатации СМ (например, изменение режимов нагрузки).

Заключение. Использование в сельхозмашиностроении и в сельском хозяйстве сенсоров, датчиков и IoT-устройств позволяет собирать огромное количество данных, что само по себе открывает большие возможности в их использовании для анализа и прогнозирования технического состояния машин. Использование этих технологий привело к развитию в сельском хозяйстве нового подхода к организации ТОиР – прогнозной методологии ТОиР, суть которой заключается в обеспечении управления надежностью машин с целью предупреждения отказов при максимальной наработке и обеспечения качества эксплуатации на предельных параметрах, на основе информационных, интеллектуальных и цифровых технологий.

В результате исследования было установлено, что реализация методологии ПО приводит к сокращению времени простоя машин, повышению их надежности, снижению эксплуатационных расходов. Анализ научных исследований позволяет выделить три задачи, решение которых предшествует внедрению ПО: определение архитектуры системы; определение целей и задач исходя из стратегии собственников; определение подходов и методик для достижения наилучшего результата ТОиР.

Предложена концептуальная модель ПО, включающая 6 слоев и набор действий, позволяющий осуществлять обнаружение и идентификацию предшествующих и зарождающихся неисправностей узлов и агрегатов машин, мониторинг и прогнозирование развития деградации деталей и технического состояния в целом, а также обеспечение поддержки принятия решений в процессе ТОиР или автоматизацию разработки графиков ТО.

Conclusions. The use of sensors, sensors and IoT devices in agricultural machinery and agriculture makes it possible to collect a huge amount of data, which in itself opens up great opportunities for their use for analyzing and predicting the technical condition of machines. The use of these technologies has led to the development in agriculture of a new approach to organizing maintenance and repair - a predictive methodology for maintenance and repair, the essence of which is to ensure the management of machine reliability in order to prevent failures at maximum operating time and ensure the quality of operation at maximum parameters, based on information, intelligent and digital technologies.

As a result of the study, it was found that the implementation of the software methodology leads to a reduction in machine downtime, an increase in their reliability, and a reduction in operating costs. Analysis of scientific research allows us to identify three tasks, the solution of which precedes the implementation of software: determining the system architecture; determining goals and objectives based on the owners' strategy; identifying approaches and techniques to achieve the best MRO results.

A conceptual software model is proposed, which includes 6 layers and a set of actions, allowing for the detection and identification of previous and incipient faults of machine components and assemblies, monitoring and forecasting the development of degradation of parts and technical condition as a whole, as well as providing decision support in the MRO process or development automation maintenance schedules.

Библиографический список

1. Попова Л. В., Горшкова Н. В., Шалдохина С. Ю. Внедрение технологий сельского хозяйства 4.0: условия и прогнозы. Вестник АГУ. 2019. Выпуск 1 (235). С. 83-89.
2. Помогаев В. М., Редеев Г. В., Ревякин П. И., Басакина А. С. Возможности использования данных электронных систем сельскохозяйственных машин для построения предсказательных моделей. Вестник Омского ГАУ. 2022. № 2 (46). С. 153–166.

3. Гунина И. А., Шкарупета Е. В., Решетов В. В. Прорывное технологическое развитие промышленных комплексов в условиях цифровой трансформации. Инновационные кластеры цифровой экономики: теория и практика. СПб.: СПбПУ, 2018. С. 535–554.

4. Wang J., Zhang L., Duan L., Gao R. X. A new paradigm of cloudbased predictive maintenance for intelligent manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2017. V. 28. No. 5. Pp. 1125–1137.

5. Hai Qiu, Lee J., Djudjanovic D. Advances on prognostics for intelligent maintenance systems. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC Papers-OnLine)*. 2005. V. 16 (1). https://www.researchgate.net/publication/251858917_Advances_on_prognostics_for_intelligent_maintenance_systems.

6. Помогаев В. М. Мониторинг технического состояния сельскохозяйственных машин и качества выполнения технологических операций. *Вестник Омского ГАУ*. 2023. № 2 (50). С. 143–152.

7. Толочко Н. К., Нукешев С. О., Романюк Н. Н., Хлынов В. Н. Прогрессивные технологии технического сервиса в сельском хозяйстве: учебное пособие. Нур-Султан: КазАТУ им. С. Сейфуллина, 2020. 171 с.

8. Зорин В. А., Степанов П. В., Стыскин М. М., Трегубов П. Г., Баурова Н. И. Система проактивного дистанционного обслуживания наземных транспортно-технологических машин. Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2021. № 5. С. 25-27.

9. Мартынов Б. Г., Тарабан М. В., Мозиков М. Д. К вопросу управления проактивной системой технического обслуживания в современных условиях. Сборник трудов науч.-тех. конф. института технологических машин и транспорта леса. СПб.: СПбГЛТУ, 2022. С. 303-307.

10. Сай Ван Квонг, Щербаков М. В. Архитектура системы предсказательного технического обслуживания сложных многообъектных систем в концепции Индустрии 4.0. Программные продукты и системы 2020. Т. 33. № 2. С. 186–194.

11. Ферাপонтова М. В., Стародубец А. А., Перчаткин А. С. Проактивное или предотвращающее обслуживание. Сборник материалов науч.-практ. конф. Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2020. С. 132-135.

12. Lüttenberg H., Bartelheimer C., Beverungen D. Designing Predictive Maintenance for Agricultural Machines. *Research Papers*. 2018. https://aisel.aisnet.org/ecis2018_rp/153.

13. Nguyen K.-A., Do P., Grall A. Multi-level predictive maintenance for multi-component systems. *Reliability engineering & system safety*. 2015. V. 144. Pp. 83–94.

14. Ran Y., Zhou X., Lin P., Wen Y. R. A Survey of Predictive Maintenance: Systems, Purposes and Approaches. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2019. № 20. Pp. 1-36. <https://arxiv.org/pdf/1912.07383.pdf>.

References

1. Popova L. V., Gorshkova N. V., Shaldokhina S. Yu. Introduction of agricultural technologies 4.0: conditions and forecasts. *Bulletin of ASU*. 2019. Issue 1 (235). Pp. 83-89.

2. Pomogaev V. M., Redreev G. V., Revyakin P. I., Basakina A. S. Possibilities of using these electronic systems of agricultural machines to build predictive models. *Bulletin of Omsk GAU*. 2022. № 2 (46). Pp. 153-166.

3. Gunina I. A., Shkarupeta E. V., Reshetov V. V. Breakthrough technological development of industrial complexes in a digital transformation. *Innovative clusters of digital economics: theory and practice*. St. Petersburg: St. Petersburg State University, 2018. Pp. 535-554.

4. Wang J., Zhang L., Duan L., Gao R. X. A new paradigm of cloudbased predictive maintenance for intelligent manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2017. V. 28. No. 5. Pp. 1125–1137.

5. Hai Qiu, Lee J., Djudjanovic D. Advances on prognostics for intelligent maintenance systems. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC Papers-OnLine)*. 2005. V. 16 (1). https://www.researchgate.net/publication/251858917_Advances_on_prognostics_for_intelligent_maintenance_systems.

6. Pomogaev V. M. Monitoring the technical condition of agricultural machines and the quality of technological operations. *Bulletin of Omsk GAU*. 2023. № 2 (50). Pp. 143-152.

7. Tolochko N. K., Nukeshev S. O., Romanyuk N. N., Khlynov V. N. Progressive technologies of technical service in agriculture: a textbook. Nur-Sultan: KazATU named after S. Seifullin, 2020. 171 p.
8. Zorin V. A., Stepanov P. V., Styskin M. M., Tregubov P. G., Baurova N. I. System of proactive remote maintenance of ground transport and technological machines. Renovations. Recovery. Modernization. 2021. № 5. Pp. 25-27.
9. Martynov B. G., Taraban M. V., Mozikov M. D. On the issue of managing a proactive maintenance system in modern conditions. Collection of works of scientific-technical conf. Institute of Technological Machinery and Forest Transport. St. Petersburg: St. Petersburg State Technical University, 2022. Pp. 303-307.
10. Sai Wang Kwong, Shcherbakov M. V. Architecture of predictive maintenance system of complex multi-object systems in Industry 4.0 concept. Software Products and Systems 2020. V. 33. № 2. Pp. 186-194.
11. Ferapontova M. V., Starodubets A. A., Glovetkin A. S. Proactive or preventing maintenance. Collection of scientific-practical materials. conf. Petrozavodsk: ICNP "New Science," 2020. Pp. 132-135.
12. Lüttenberg H., Bartelheimer C., Beverungen D. Designing Predictive Maintenance for Agricultural Machines. Research Papers. 2018. https://aisel.aisnet.org/ecis2018_rp/153.
13. Nguyen K.-A., Do P., Grall A. Multi-level predictive maintenance for multi-component systems. Reliability engineering & system safety. 2015. V. 144. Pp. 83–94.
14. Ran Y., Zhou X., Lin P., Wen Y. R. A Survey of Predictive Maintenance: Systems, Purposes and Approaches. IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2019. № 20. Pp. 1-36. <https://arxiv.org/pdf/1912.07383.pdf>.

Информация об авторах

Помогаев Виталий Михайлович, кандидат экономических наук, доцент кафедры технического сервиса, механики и электротехники факультета технического сервиса в АПК, ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина» (Российская Федерация, 644008, г. Омск, ул. Институтская площадь, д. 1), e-mail: vm.pomogaev@omgau.org

Author's Information

Pomogaev Vitaly Mikhailovich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering Service, Mechanics and Electrical Engineering, Faculty of Engineering Service in the Agro-Industrial Complex, Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin (Russian Federation, 644008, Omsk, Institutskaya Square, 1), e-mail: vm.pomogaev@omgau.org

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-55

FAULT DETECTION OF CONNECTING JOURNALS AND MAIN JOURNALS OF THE CRANKSHAFT

G. N. Temasova, O. A. Leonov, A. N. Samordin, D. O. Leonov

*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
Moscow, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: temasova@rgau-msha.ru

Received 17.08.2023

Submitted 10.10.2023

Summary

The article deals with the problems associated with the defectiveness of the connecting rod and main journals of the crankshaft, and also presents a mathematical description of this process, taking into account the control of dimensions, shape and location of surfaces. The studies were carried out at the repair enterprises of the agro-industrial complex. Determining the condition of parts after fault detection is an important step in the repair process. This determines whether parts can be machined to repair size or should be rejected. To more accurately determine the condition of defective parts, a tool was developed for monitoring and analyzing dimensions and shape deviations. This tool allows you to evaluate defects in more detail and determine how critical they are for the further use of the part.