

## **ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕХНИЧЕСКОМ СЕРВИСЕ АПК**

**М. Н. Ерохин<sup>1</sup>, Д. В. Варнаков<sup>2</sup>, В. В. Варнаков<sup>2</sup>,  
М. Ю. Карелина<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»

(г. Москва, Российская Федерация)

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет»

(г. Ульяновск, Российская Федерация)

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»

(г. Москва, Российская Федерация)

***Аннотация:** В статье рассмотрены вопросы разработки стратегии цифровизации технического сервиса в АПК. Рассмотрены методы диагностирования по косвенным параметрам, методы поиска неисправностей, технологии беспроводной передачи данных, рассмотрены технологии обработки больших данных, теоретически обоснована методика прогнозирования периодичности обслуживания техники по фактическому состоянию.*

***Ключевые слова:** техническая диагностика; диагностические параметры; поиск неисправностей; беспроводная передача данных; технология больших данных; машинное изучение данных.*

## **DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE TECHNICAL SERVICE OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX**

**M. N. Erokhin<sup>a</sup>, D. V. Varnakov<sup>b</sup>, V. V. Varnakov<sup>b</sup>,  
M. Yu. Karelina<sup>c</sup>**

<sup>a</sup>Russian Timiryazev State Agrarian University  
(Moscow, Russian Federation)

<sup>b</sup>Ulyanovsk State University  
(Ulyanovsk, Russian Federation)

<sup>c</sup>Moscow Automobile and Road Construction State Technical  
University (MADI)  
(Moscow, Russian Federation)

**Abstract:** *The article deals with the development of a digitalization strategy for technical services in the agro-industrial complex. The results of investigations of methods of diagnostics by indirect parameters, methods of troubleshooting, wireless data transmission technologies are presented, technologies for processing big data are considered, and a technique for predicting the frequency of maintenance of equipment based on the actual state is theoretically substantiated.*

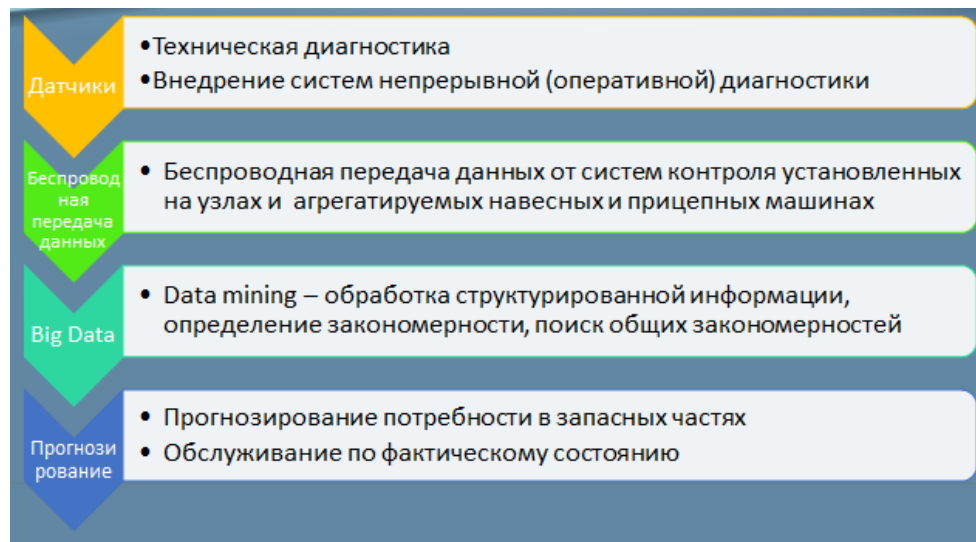
**Keywords:** *technical diagnostics; diagnostic parameters; troubleshooting; wireless data transmission; big data technology; machine learning.*

Планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта предполагает безаварийную эксплуатацию и ремонт машин, однако на практике приходится учитывать и неплановые ремонты. Причинами неплановых ремонтов чаще всего является неудовлетворительное техническое состояние или аварийные состояния по причине некачественного технического обслуживания. Повышение эффективности эксплуатации техники за счет снижения количества неплановых ремонтов требует внедрения научно обоснованных направлений совершенствования организации технического обслуживания на основе цифровых технологий.

Стратегия цифровизации технического сервиса в АПК предполагает ряд этапов: внедрение систем непрерывной (оперативной) диагностики и технологий беспроводной передачи данных от систем контроля, установленных на узлах и агрегируемых навесных и прицепных машинах; сбор, обработка структурированной диагностической информации и поиск общих закономерностей, позволяющие использовать машинное изучение данных; прогнозирование потребности в запасных частях, периодичности обслуживания; обслуживание по фактическому состоянию.

Этап технической диагностики предполагает решение нескольких основных задач: обеспечение безопасности, функциональной надёжности и эффективности работы технического объекта; сокращение затрат на его техническое обслуживание; уменьшение потерь от простоев в результате отказов и преждевременных выводов в ремонт. В качестве диагностических параметров могут быть приняты: прямые – непосредственно характеризуют состояние объекта; косвенные – связаны с прямыми параметрами функциональной зависимостью.

При функциональной диагностике объекта в процессе его работы – наряду с отдельно рассматриваемыми параметрами – могут использоваться также как признак состояния функциональные связи (функциональные зависимости) параметров.



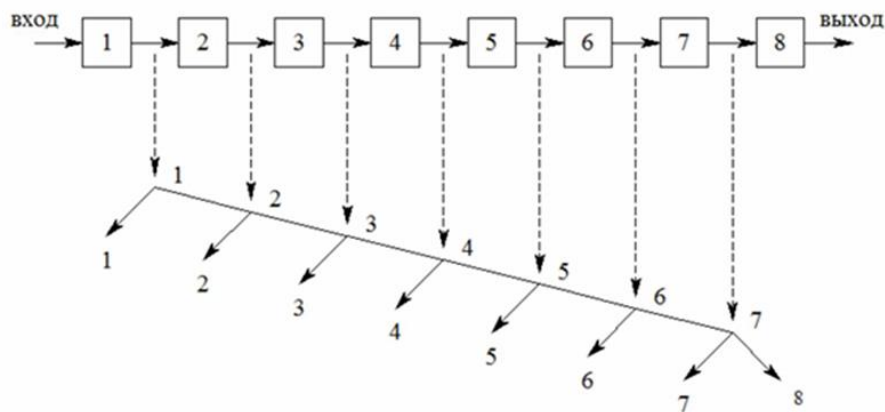
**Рисунок 1 – Стратегия цифровизации технического сервиса в АПК**

К методам диагностирования применимым в условиях АПК можно отнести:

- вибрационные;
- акустические;
- тепловые;
- трибодиагностика;
- диагностика на основе анализа продуктов износа в продуктах сгорания;
- акустическая эмиссия;
- радиография;
- магнитопорошковый;
- вихретоковый;
- ультразвуковой контроль;
- капиллярный контроль;
- параметрической диагностики;
- электродиагностический контроль.

Решение задач технической диагностики предполагает использование методов поиска неисправностей. При

относительно небольшом количестве диагностируемых узлов и агрегатов возможно использование как тестового диагностирования при техническом обслуживании техники, так и метода последовательных элементарных проверок в непрерывном режиме или периодически в процессе эксплуатации техники.



**Рисунок 2 – Реализация метода последовательных элементарных проверок**

Техническая диагностика с применением специально разработанных датчиков и систем контроля предполагает передачу данных. Перспективным направлением развития технической диагностики является внедрение беспроводной передачи данных, которая расширяет возможности систем контроля без необходимости значительной модернизации техники. Беспроводная передача данных особенно актуальна для агрегируемой техники, сложных агрегируемых орудий. Использование ячеистой топологии (mesh-топология) позволяет коммутировать центр обработки и выдачи диагностической информации как напрямую, так и через промежуточные узлы сети.

Пример разработанной коммутируемой сети приемопередающих устройств системы контроля обводненности дизельного топлива представлен на рисунке 3.



**Рисунок 3 – Приемопередающие устройства системы контроля обводненности дизельного топлива**

Накопление и обработка статистических данных о техническом состоянии машин предполагает решение задач сбора, обработки структурированной диагностической информации и поиск общих закономерностей, позволяющих использовать машинное изучение данных посредством технологий Big data. Анализ массивов данных из различных источников дает возможность получать из них ранее неизвестную информацию, строить прогнозы изменения технического состояния машин и оборудования, прогнозировать потребность в запасных частях.

Прогнозирование периодичности обслуживания техники требует теоретического обоснования, не только основываясь на статистических данных, но и на анализе факторов, воздействующих на деградацию технического состояния. Периодичность технического обслуживания, в таком случае, может быть не постоянна, и зависеть от требуемой надежности и допустимых затрат. Деградация технического состояния техники (системы, агрегата, блока, элемента) в процессе длительной эксплуатации характеризуется непрерывным одномерным, монотонно возрастающим случайным процессом  $X(t)$ , который контролируется без ошибок в моменты  $t_k = k \cdot \Delta t$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots$

В таком случае уместно применить теорию параметрической надежности. Приращения процесса  $X(t)$  по шагам контроля независимы и образуют последовательность независимых случайных величин с общей функцией распределения:

$$F(x) = P\{\Delta X_k < x\}, \quad (1)$$

где  $\Delta X_k$  – приращения процесса по шагам контроля  $k = 1, 2, \dots$

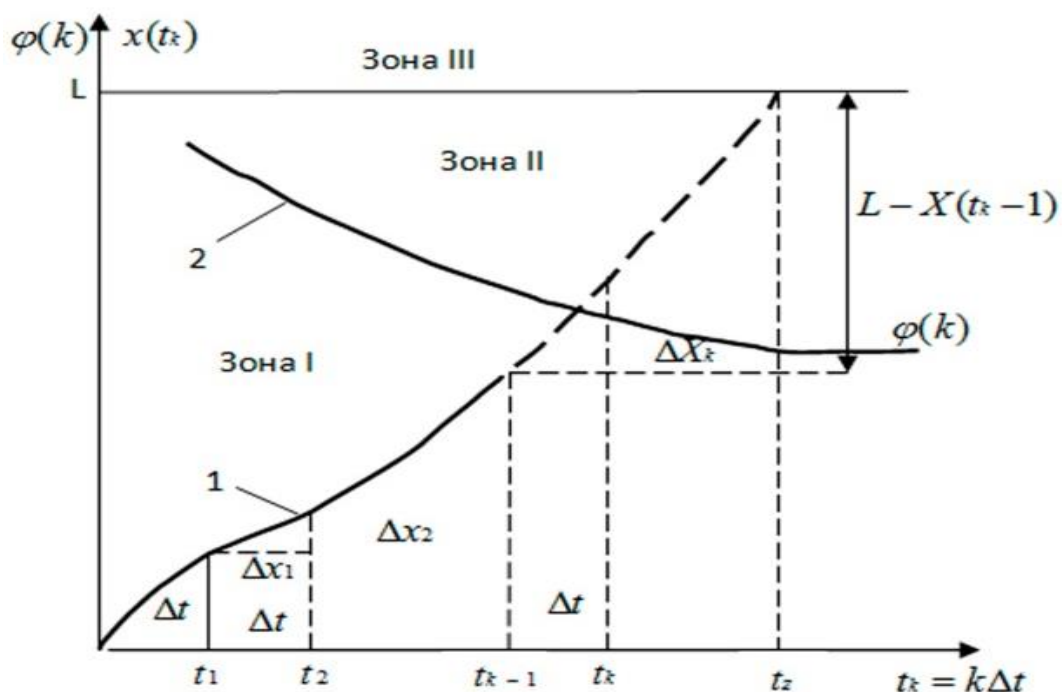
Пусть  $C_1$  – средние потери времени на техническое обслуживание системы  $X(t)$  если параметр находится внутри поля допуска  $(0, L)$  (предупредительное, профилактическое техническое обслуживание);  $C_2$  – средние потери времени на техническое обслуживание, если параметр вышел за пределы поля допуска  $(0, L)$  (аварийное обслуживание).

Функция удельных потерь:

$$y_k = \begin{cases} \frac{C_1}{t_k}, & \text{если } t_k < t_z \\ \frac{C_2}{t_k}, & \text{если } t_k \geq t_z \end{cases} \quad (2)$$

где  $t_z$  – момент выхода процесса  $X(t)$  за уровень  $L$  на графике

Задача заключается в отыскании такого правила остановки (технического обслуживания)  $v^*$ , при котором достигается критерий минимальности затрат в процессе длительной эксплуатации системы.



**Рисунок 4 – Определение правил оптимальной остановки**

Реализация концепции технического обслуживания по фактическому состоянию возможна посредством проведения

непрерывного контроля и периодической технической диагностики перечня параметров состояния техники (рисунок 5).



**Рисунок 5 – Этапы реализации концепции технического обслуживания по фактическому состоянию**

На основании приведенной выше информации, можно сделать вывод о том, что стратегия цифровизации технического сервиса в АПК позволит достичь целевых показателей: уменьшение затрат на обслуживание техники, количества обслуживаний (времени нахождения техники на техническом обслуживании или ремонте), количества отказов.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Дидманидзе О. Н., Карев А. М., Митягин Г. Е. О перспективах развития автомобильного транспорта в агропромышленном комплексе // Международный научный журнал. 2016. № 1. С. 53-65.
2. Афонин М. А., Варнаков Д. В. Определение фактической загрязненности моторного масла применением устройства оперативной оценки / Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 1 (69). С. 109-112.
3. Варнаков Д. В., Афонин М. А. Применение контрольных карт Шухарта в системах измерения параметров // Аграрный научный журнал. 2018. № 2. С. 54-58.
4. Варнаков Д. В. Использование диагностических параметров при оценке и прогнозе : монография. Ульяновск : УлГУ, 2013. 124 с.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018614322 Рос. Федерация. Оценка эффективности управления

процессами технического обслуживания и ремонта машин / Д. В. Варнаков, В. В. Варнаков, М. А. Афонин, М. Е. Дежаткин, Е. В. Кураева, М. С. Кузнецова. Заявл. 13.02.18; опубл. 04.04.18.

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018613762 Рос. Федерация. Обоснование оптимального выбора процесса консервации машин / Д. В. Варнаков, М. А. Афонин, М. Е. Дежаткин, И. С. Смирнова, В. В. Варнаков, Е. А. Варнакова. Заявл. 07.02.18; опубл. 22.03.18.

7. Разработка устройства оперативной оценки качества моторного масла / Д. В. Варнаков, В. В. Варнаков, М. А. Афонин, Д. Н. Яшин // Технологии нефти и газа. 2018. № 1 (114). С. 61-69.

8. Варнаков Д. В., Афонин М. А., Калинин О. В. Оперативная оценка остаточного ресурса моторного масла при техническом обслуживании военной автомобильной техники // Проблемные вопросы материально-технического обеспечения группировки войск (сил) (по итогам проведения специальных учений и выполнения задач органами военного управления, соединениями и воинскими частями МТО в ходе маневров войск (сил) «Восток-2018»): сборник научных статей по материалам Отраслевой научно-практической конференции (25 окт. 2018 г., г. Санкт-Петербург). 2018. Ч. 2. С. 339-344. Инв. № 46365.

9. Пат. 182231 Российская Федерация, G01N21/00. Устройство контроля остаточного ресурса моторного масла двигателя внутреннего сгорания / Д. В. Варнаков, М. А. Афонин, В. В. Варнаков, В. Н. Яшин. Заявл. 03.04.2018; опубл. 08.08.2018; Бюл. № 22.

## REFERENCES

1. Didmanidze O. N., Karev A. M., Mitjagin G. E. O perspektivah razvitiya avtomobil'nogo transporta v agropromyshlennom komplekse [On the prospects for the development of road transport in the agro-industrial complex]. *Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal*, 2016, no. 1, pp. 53-65.

2. Afonin M. A., Varnakov D. V. Opredelenie fakticheskoj zagriznenosti motornogo masla primeneniem ustrojstva operativnoj ocenki [Determination of the actual contamination of engine oil using a rapid assessment device]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, no. 1 (69), pp. 109-112.

3. Varnakov D. V., Afonin M. A. Primenenie kontrol'ny`x kart Shuxarta v sistemax izmereniya parametrov [Application of Shewhart control charts in parameter measurement systems]. *Agrarny`j nauchny`j zhurnal*, 2018, no. 2, pp. 54-58.

4. Varnakov D. V. Ispol`zovanie diagnosticheskix parametrov pri ocenke i prognoze. Uf`yanovsk, UIGU, 2013, 124 p.

5. Varnakov D. V., Varnakov V. V., Afonin M. A., Dezhatkina M. E., Kurayeva E. V., Kuznecova M. S. Svidetel`stvo o gosudarstvennoj registracii program-



my` dlya E`VM № 2018614322 Ros. Federaciya. Ocenka e`ffektivnosti upravleniya processami texnicheskogo obsluzhivaniya i remonta mashin. Zayavl. 13.02.18; opubl. 04.04.18.

6. Varnakov D. V., Afonin M. A., Dezhatkin M. E., Smirnova I. S., Varnakov V. V., Varnakova E. A. Svidetel`stvo o gosudarstvennoj registracii programmy` dlya E`VM № 2018613762 Ros. Federaciya. Obosnovanie optimal`nogo vy`bora processa konservacii mashin. Zayavl. 07.02.18; opubl. 22.03.18.

7. Varnakov D. V., Varnakov V. V., Afonin M. A., Yashin D. N. Razrabotka ustrojstva operativnoj ocenki kachestva motornogo masla [Development of a device for the rapid assessment of the quality of engine oil]. *Texnologii nefti i gaza*, 2018, no. 1 (114), pp. 61-69.

8. Varnakov D. V., Afonin M. A., Kalinin O. V. Operativnaya ocenka ostatochnogo resursa motornogo masla pri texnicheskom obsluzhivanii voennoj avtomobil`noj texniki [Rapid assessment of the residual resource of engine oil during the maintenance of military vehicles]. *Problemnny`e voprosy` material`no-texnicheskogo obespecheniya gruppirovki vojsk (sil) (po itogam provedeniya special`ny`x uchenij i vy`polneniya zadach organami voennogo upravleniya, soedineniyami i voinskimi chastyami MTO v xode manevrov vojsk (sil) «Vostok-2018»)*. Sbornik nauchny`x statej po materialam Otrasleyvoj nauchno-prakticheskoj konferencii (25 okt. 2018 g., g. Sankt-Peterburg). 2018. Ch. 2. S. 339-344. Inv. no. 46365.

9. Varnakov D. V., Afonin M. A., Varnakov V. V., Yashin V. N. Pat. 182231 Rossijskaya Federaciya, G01N21/00. Ustrojstvo kontrolya ostatochnogo resursa motornogo masla dvigatelya vnutrennego sgoraniya /. Zayavl. 03.04.2018; opubl. 08.08.2018; Byul. no. 22.

#### ***Об авторах:***

**Ерохин Михаил Никитьевич**, профессор кафедры сопротивления материалов и деталей машин ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева» (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), академик РАН, доктор технических наук, профессор, p.erohin@rgau-msha.ru.

**Варнаков Дмитрий Валерьевич**, профессор кафедры техносферной безопасности ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет» (432017, Российская Федерация, г. Ульяновск, ул. Льва Толстого, д. 42), доктор технических наук, доцент, varndm@mail.ru.

**Варнаков Валерий Валентинович**, заведующий кафедрой техносферной безопасности ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет» (432017, Российская Федерация, г. Ульяновск, ул. Льва Толстого, д. 42), доктор технических наук, профессор, varnval@mail.ru.

**Карелина Мария Юрьевна**, проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический

университет (МАДИ)» (125319, Российская Федерация, Москва, Ленинградский проспект, 64), доктор технических наук, профессор, nauka@madi.ru.

***About the authors:***

**Mikhail N. Erokhin**, professor of the Department of Resistance of Materials and Machine Parts, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), D.Sc. (Engineering), professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, n.erohin@rgau-msha.ru.

**Dmitrii V. Varnakov**, professor of the Department of Technosphere Security, Ulyanovsk State University (432017, Russian Federation, Ulyanovsk, Lva Tolstogo str., 42), D.Sc. (Engineering), associate professor, varndm@mail.ru.

**Valerii V. Varnakov**, Head of the Department of Technosphere Security, Ulyanovsk State University (432017, Russian Federation, Ulyanovsk, Lva Tolstogo str., 42), D.Sc. (Engineering), professor, varnval@mail.ru.

**Mariya Yu. Karelina**, Vice-rector for Research, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI) (125319, Russian Federation, Moscow, Leningradsky Prospekt, 64), D.Sc. (Engineering), professor, nauka@madi.ru.