

## ПРОАКТИВНАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

**А. Н. Юденичев<sup>1</sup>, Д. В. Варнаков<sup>2</sup>, Е. П. Парлюк<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ФАУ «25 Государственный НИИ химмотологии Министерства обороны Российской Федерации», г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», г. Ульяновск, Российская Федерация

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (НИУ)», г. Москва, Российская Федерация

***Аннотация.** В статье рассмотрены основные тенденции в области технического обслуживания и ремонта транспортных средств. Переход от планово-предупредительной к проактивной системе технического обслуживания и ремонта требует развитие технических средств и методов диагностики транспортных средств. Рассмотрены основные этапы развития средств и методов оценки технического состояния машин и оборудования. В работе обосновано корректирование обслуживающих и ремонтных воздействий по фактору времени, которое базируется на диагностической информации и выборе критериев оптимальности.*

*Переход к проактивной системе технического обслуживания и ремонта требует не только мониторинга контролируемых параметров, но и получении информации о тенденциях изменения параметров во времени. Применение проактивной системы технического обслуживания и ремонта требует построения моделей прогнозирования, внедрения новых технических средств непрерывной диагностики, беспроводных систем передачи данных.*

***Ключевые слова:** проактивная система технического обслуживания и ремонта; прогнозирование; параметр; фактическое состояние; беспроводные системы передачи данных.*

## PROACTIVE MAINTENANCE SYSTEM USING REMOTE VEHICLE DIAGNOSTICS

**A. N. Yudenichev<sup>a</sup>, D. V. Varnakov<sup>b</sup>, E. P. Parlyuk<sup>c</sup>**

<sup>a</sup> 25 State Research Institute of Chemmotology of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

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

<sup>c</sup> Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** *The article discusses the main trends in the field of vehicle maintenance and repair. The transition from a planned preventative to a proactive system of maintenance and repair requires the development of technical means and methods for diagnosing vehicles.*

*The main stages in the development of means and methods for assessing the technical condition of machines and equipment are considered. The work substantiates the adjustment of maintenance and repair actions based on the time factor, which is based on diagnostic information and the selection of optimality criteria. The transition to a proactive maintenance and repair system requires not only monitoring of monitored parameters, but also obtaining information about trends in parameters over time. The use of a proactive maintenance and repair system requires the construction of forecasting models, the introduction of new technical means of continuous diagnostics, and wireless data transmission systems.*

**Keywords:** *proactive maintenance and repair system; forecasting; parameter; actual state; wireless data transmission systems.*

Планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта (ППР) в соответствии с ГОСТ 18322-2016, представляет собой совокупность взаимосвязанных средств, документации и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления качества машин. В основе системы ППР положены принципы периодического контроля технического состояния машин, основанного на статистических данных, и проведении профилактических мероприятий, направленных на выявление и предупреждение отказов. Несмотря на широкое распространение планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта к ее недостаткам можно отнести:

- планирование работ по техническому обслуживанию и ремонту зачастую противоречит срокам технологических работ;
- корректировка сроков проведения технического обслуживания и ремонта, вызванная необходимостью выполнения работ по назначению (прим. агротехнические сроки), приводит к уменьшению межсервисных интервалов либо повышению риска потери работоспособности;
- плановый межсервисный интервал не отражает реальных условий эксплуатации конкретного автотранспортного средства, является некоторой средней величиной;
- выполнение всех требований и регламента работ планово-предупредительной системы технического обслуживания и

ремонта не исключает возникновения внезапных отказов.

Ужесточение требований надежности транспортных средств и вместе с тем необходимость снижения эксплуатационных затрат, обусловленное конкуренцией и спросом, приводит к необходимости внедрения проактивного технического обслуживания, которое предполагает решение задач, связанных с оперативной, а в некоторых случаях непрерывной диагностикой прогнозирующих параметров.

Проактивное техническое обслуживание (PRM – Proactive Reliability Maintenance) представляет собой предупредительное обслуживание по фактическому состоянию. Главной целью внедрения обслуживания по фактическому состоянию является повышение эффективности системы технического обслуживания и ремонта, а ее достижение предполагает решение следующих задач:

- широкое внедрение средств непрерывной диагностики техники;
- разработка методов диагностики и прогнозирования;
- разработка способов и средств передачи, сбора и обработки диагностической информации;
- разработка методики принятия решений на основе полученной диагностической информации.

Развитие технической диагностики включает в себя несколько стадий:

- совершенствование методов и технических средств контроля диагностических параметров;
- развитие мониторинга контролируемых параметров;
- совершенствование методов прогнозирования технического состояния автотранспортных средств.

На стадии контроля технического состояния автотранспортного средства достаточно информации о величинах измеряемых параметров и зонах их допустимых отклонений. В процессе мониторинга важное значение имеет непрерывность, точность и достоверность получаемых данных. Стадия прогнозирования базируется на мониторинге, при этом должны учитываться тенденции изменения контролируемых параметров, закон их изменения.

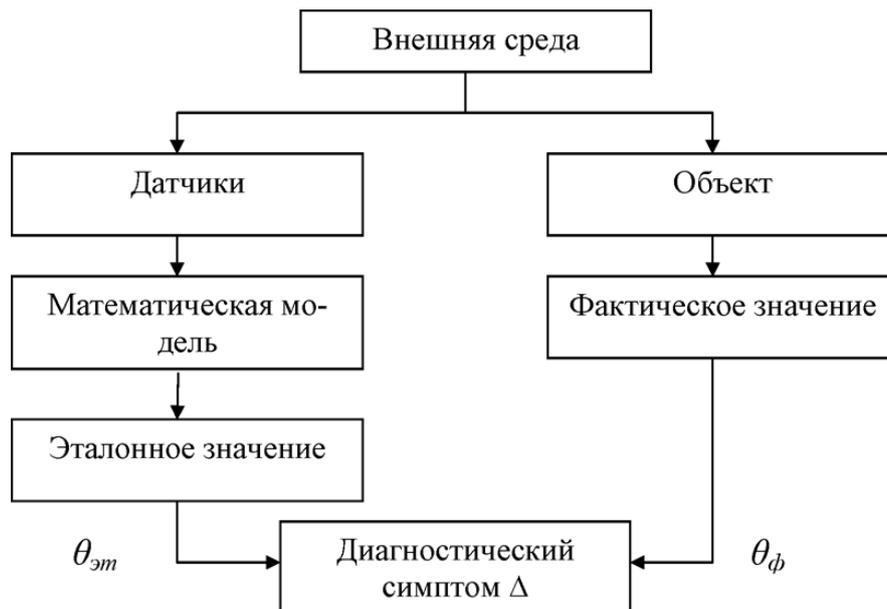
Само по себе значение параметра состояния или диагностического параметра еще не дает оценки технического состояния

объекта. Чтобы оценить состояние машины или оборудования необходимо знать не только фактические значения параметров, но и соответствующие эталонные значения. Таким образом, оценка технического состояния объекта определяется отклонением фактических значений его параметров от их эталонных значений, а любая система технической диагностики (рисунок 1) работает по принципу отклонений от нормативных значений.



**Рисунок 1 – Структурная схема оценки технического состояния машин и оборудования**

Математическая модель объекта диагностики может быть основана на эталонных (конструкционных) параметрах, либо представлена набором формул, по которым рассчитываются эталонные значения всех диагностируемых параметров. Математическая модель должна учитывать условия нагрузки объекта и существенные параметры внешней среды.



**Рисунок 2 – Структурная схема технической диагностики**

Методы диагностирования технического состояния узлов и агрегатов автотранспортных средств характеризуются физической сущностью и способом измерения диагностических параметров, а их выбор определяется критерием оптимальности в зависимости от задач диагностирования. Можно выделить три основные группы методов диагностирования (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Методы диагностирования автомобилей**

Методы первой группы базируются на имитации скоростных и нагрузочных режимов работы автомобиля, определении при заданных условиях выходных параметров и сравнении их количественных значений с эталонными. Диагностирование проводится с использованием стендов с беговыми барабанами или непосредственно в процессе работы автомобиля. Методы широко применяются для общей оценки технического состояния автомобилей и агрегатов.

При этом для отсеивания ложных значений контролируемых параметров целесообразно применять контрольные карты Шухарта.

Методика построения контрольных карт для индивидуальных значений и скользящих размахов включает ряд этапов. В зависимости от того заданы ли стандартные значения показателя качества или нет первый этап разбивается на два варианта.

1. В случае если стандартные значения не заданы:

Сбор предварительных данных о протекании процесса. Для этого необходимо произвести несколько измерений показателя качества.

На основе собранных данных рассчитывают среднее значение параметра:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N}, \quad (1)$$

и среднее значение скользящего размаха:

$$\bar{R} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |x_i - x_{i+1}| = \frac{|x_1 - x_2| + |x_2 - x_3| + \dots + |x_{N-1} - x_N|}{N-1}, \quad (2)$$

где  $N$  – число произведенных измерений при предварительном сборе данных.

Вычисляют значения для центральной линии, нижнего и верхнего контрольного пределов для  $\bar{X}$  карты:

$$CL = \bar{x}; \quad LCL = \bar{x} - 2,66\bar{R}; \quad UCL = \bar{x} + 2,66\bar{R}; \quad (3)$$

для  $R$  карты:

$$CL = \bar{R}; \quad LCL = 0; \quad UCL = 3,267\bar{R}. \quad (4)$$

2. В случае если стандартные значения заданы (т.е. заданы  $x_0$ ,  $\sigma_0$  и, возможно,  $R_0$ ):

Вычисляют значения для центральной линии, нижнего и верхнего контрольного пределов для  $\bar{X}$  карты:

$$\begin{cases} CL = x_0; LCL = x_0 - 3\sigma_0; UCL = x_0 + 3\sigma_0; \\ CL = R_0 \text{ (если } R_0 \text{ задано)} \text{ или } CL = 1,128\sigma_0 \text{ (если } R_0 \text{ не задано)}; \\ LCL = 0; UCL = 3,686\sigma_0. \end{cases} \quad (5)$$

Графическое представление может быть выполнено в виде граничных значений контролируемого параметра описываемых некоторой зависимостью выполненных в системе координат.

При выборе диагностических параметров как правило используется структурно-следственная схема, представляющая собой последовательность и взаимосвязи элементов объекта диагностики, характеризующие их структурные параметры, перечень характерных неисправностей, подлежащих выявлению, при этом характерные неисправности основываются на статистических данных. Основываясь на принципе причинно-следственных связей, можно выделить «прогнозирующий» параметр, который прямо либо косвенно отражает техническое состояние диагностируемого объекта.

Мониторинг диагностических параметров требует непрерывной передачи данных в процессе эксплуатации объекта. Для решения задачи непрерывного контроля диагностических параметров автотранспортного средства является разработка беспроводной сети передачи данных измерительной системы с применением ZigBee технологии.

Беспроводная сенсорная сеть представляет собой распределённую, самоорганизующуюся сеть множества датчиков (сенсоров) и исполнительных устройств, объединённых между собой посредством радиоканала. Область покрытия подобной сети может составлять от нескольких метров до нескольких километров за счет способности ретрансляции сообщений от одного элемента к другому. Технология ретранслируемой ближней радиосвязи 802.15.4/ZigBee, является одним из современных направлений развития самоорганизующихся отказоустойчивых распределённых систем наблюдения и управления ресурсами и процессами.

Сегодня технология беспроводных сенсорных сетей, является единственной беспроводной технологией, с помощью которой можно решить задачи мониторинга и контроля, которые критичны к времени работы датчиков. Основной областью применения

является контроль и мониторинг измеряемых параметров физических сред и объектов.

### **Заключение**

Диагностирование играет важную роль в обслуживании автомобилей и решает задачи повышения информативности о техническом состоянии транспортных средств и позволяет внедрить проактивное техническое обслуживание, тем самым снизить издержки при эксплуатации, коэффициент готовности и в целом надежность.

Оценка технического состояния транспортного средства может определяться как отклонение фактических значений его параметров от их эталонных значений. Для исключения ложных значений контролируемых параметров целесообразно применять контрольные карты Шухарта.

Для реализации непрерывного контроля диагностических параметров автотранспортного средства важным элементом является разработка беспроводных средств передачи данных, а ее реализация возможна на базе распределенных сетей ZigBee технологии.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Антропов, Б. С. Диагностирование автотранспортных средств: учеб. пособие / Б. С. Антропов, И. С. Басалов. – Ярославль : ЯГТУ, 2016 – 144 с.

2. Дидманидзе, О. Н. О перспективах развития автомобильного транспорта в агропромышленном комплексе / О. Н. Дидманидзе, А. М. Карев, Г. Е. Митягин // Международный научный журнал. – 2016. – № 1. – С. 53-65.

3. Выбор параметров диагностирования деталей цилиндропоршневой группы автомобильных дизельных двигателей / Б. С. Антропов, В. В. Капранов, В. В. Гумённый, В. А. Генералов // Вестник АПК Верхневолжья. – 2020. – № 2 (50). – С. 82–84. DOI 10.35694/YARCX.2020.50.2.0015.

4. Патент № 2743092 С9 Российская Федерация, МПК G01M 15/00, G01M 15/05. Способ и система контроля параметров технического состояния двигателя внутреннего сгорания : № 2019118838 : заявл. 17.06.2019 : опубл. 22.02.2022 / Д. В. Варнаков, В. В. Варнаков, Д. Н. Яшин [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет».

5. Варнаков, Д. В. Применение контрольных карт Шухарта в системах измерения параметров / Д. В. Варнаков, М. А. Афонин // Аграрный научный журнал. – 2018. – № 2. – С. 54-58.

6. Варнаков, Д. В. Использование диагностических параметров при оценке и прогнозировании параметрической надежности двигателей

автотранспортных средств: монография / Д. В. Варнаков. – Ульяновск: УлГУ, 2013. – 124 с. – ISBN 978-5-88866-486-5.

7. Цифровые технологии в техническом сервисе АПК / М. Н. Ерохин, Д. В. Варнаков, В. В. Варнаков, М. Ю. Карелина // В сборнике: Чтения академика В. Н. Болтинского. – 2021. – С. 34-43.

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018614322 Российская Федерация. Оценка эффективности управления процессами технического обслуживания и ремонта машин : № 2018611398 : заявл. 13.02.2018 : опубл. 04.04.2018 / Д. В. Варнаков, М. А. Афонин, М. Е. Дежаткин [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет».

9. Будущее тракторостроения в России / В. И. Трухачев, О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев // В сборнике: Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы. – 2022. – С. 15-21.

10. Варнаков, Д. В. Применение распределенных сетей в задачах прогнозирования и управления / Д. В. Варнаков, А. В. Бугаев, В. В. Варнаков // В сборнике: Чтения академика В. Н. Болтинского. – 2022. – С. 57-65.

11. Дидманидзе, О. Н. Тенденции развития цифровых технологий диагностирования технического состояния тракторов / О. Н. Дидманидзе, А. С. Дорохов, Ю. В. Катаев // Техника и оборудование для села. – 2020. – № 11 (281). – С. 39-43.

12. Баркова, Н. А. Неразрушающий контроль технического состояния горных машин и оборудования: учеб. пособие / Н. А. Баркова, Ю. С. Дорошев. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2009. – 157 с.

#### ***Об авторах:***

**Юденичев Андрей Николаевич**, ведущий инженер ФАУ «25 Государственный научно-исследовательский институт химмотологии Министерства обороны Российской Федерации» (121467, Москва, ул. Молодогвардейская, д. 10).

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

**Парлюк Екатерина Петровна**, профессор ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (105005, Российская Федерация, Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Басманный, ул. 2-я Бауманская, д. 5, с. 1), доктор технических наук, kparlyuk@rgau-msha.ru.

*About the authors:*

**Andrey N. Yudenichev**, lead engineer, FAI «25th State Research Institute of Chemmotology of the Ministry of Defense of the Russian Federation» (121467, Russian Federation, Moscow, Molodogvardeyskaya str., 10).

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

**Ekaterina P. Parlyuk**, professor, Bauman Moscow State Technical University (105005, Russian Federation, Moscow, ext. ter. Basmanny municipal district, 2nd Baumanskaya str., 5, p. 1), D.Sc. (Engineering), kparlyuk@rgau-msha.ru.