

Научная статья  
УДК: 629.01  
DOI 10.18101/2306-2363-2025-4-26-30

## Использование присадок и нанотехнологий при техническом обслуживании и ремонте мобильной техники

© Болоев Петр Антонович  
доктор технических наук, профессор,  
pboloev@mail.ru

© Миронов Геннадий Доржиевич  
аспирант,  
box.gmirt@gmail.com

© Нечкин Вадим Николаевич,  
аспирант,  
nvofficialpro@mail.ru

© Занаева Галина Бимбаевна  
студентка,  
zanaeva@bk.ru

Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова  
Россия, 670000, Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а

**Аннотация.** В статье рассматриваются современные подходы к повышению ресурса быстроизнашиваемых деталей мобильной техники за счет применения присадок и нанотехнологий при техническом обслуживании и ремонте. Представлены результаты исследований, проведенных в ведущих российских научных и образовательных учреждениях: Мордовский государственный университет, МГАУ им. В. П. Горячкина, Ульяновское высшее военно-техническое училище, Иркутский ГАУ им. А. А. Ежевского и Бурятский государственный университет им. Д. Банзарова. Описаны разработкиnanostructured покрытий (на основе CrB<sub>2</sub>, SiC, Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ca-BN и др.), присадок сnanoалмазами («NANO DIAMOND GREEN RUN»), смазочных композиций и топливных добавок, включая патентованные составы на основе рапсового масла и наноразмерного SiO<sub>2</sub>. Показано, что использование указанных материалов повышает твердость поверхностей в 1,5–2 раза и снижает износ деталей на 20–50 %. Дополнительно рассматриваются методы интеллектуальной диагностики технического состояния с использованием искусственного интеллекта и алгоритмов, реализованных в MATLAB, для управления автономными системами, включая двигатели мобильной техники. Предложена математическая модель оптимизации диагностических параметров на основе коэффициентов парной корреляции и критериев минимизации издержек, связанных с погрешностями измерений. Показано, что точный учет климатических, эксплуатационных и топливных факторов позволяет существенно повысить эффективность технического обслуживания, особенно при использовании альтернативных видов топлива.

**Ключевые слова:** нанотехнологии, присадки, мобильная техника, нанопокрытия, гальванокомпозиционные покрытия, nanoалмазы, смазочные композиции, диагностические параметры, износостойкость, оптимизация издержек.

**Для цитирования**

Болоев П. А., Миронов Г. Д., Нечкин В. Н., Занаева Г. Б. Использование присадок и нанотехнологий при техническом обслуживании и ремонте мобильной техники // Вестник Бурятского государственного университета. Химия. Физика. 2025. Вып. 4. С. 26–30.

Путем использования современных разработок можно существенно повысить срок работы быстроизнашиваемых деталей мобильной техники.

Нанесение гальванокомпозиционных покрытий, таких как борид хрома  $CrB_2$ , карбит кремния  $SiC$  в виде нанопрошков и керамики в пределах 40–60<sub>нм</sub>, повышает твердость в 1,5–2,0 раза [1]. Здесь же разработаны композиционные наноматериалы —  $Cu - Al_2O_3$ ,  $Ca - BN$ ,  $Cu - MoS_2$ ,  $Cu - ZnO_2$  для гальванического хромирования.

В Мордовском госуниверситете разработана электроискровая установка БНГ-3 для наноструктурированных покрытий.

В МГАУ им. В. П. Горячкина и ООО «Лаборатория триботехнологии» г. Зеленограда разработаны присадки в моторное масло «NANODIAMONDGREENRUN» — наноалмазы» (4–6 мм), структурирующие масляную пленку, увеличивающие ее динамическую прочность, формирующие новые поверхности трения (максимальные нагрузки и дефицит смазки в кривошипно-шатунном механизме).

В Ульяновском высшем военно-техническом училище разработаны смазочные композиции — минеральное масло, олеиновая кислота, октаденилсульфонат натрия и этилендиаммония тетраборат в виде нанопорошка в масле, которые уменьшают износ вкладыша в 0,8–1,5 раза.

В Иркутском ГАУ им. А. А. Ежевского и Бурятском госуниверситете им. Д. Банзарова получены патенты на противозадирные присадки для дизельного топлива, включающие рапсовое масло, этиловый спирт и воду (RUN2782804 C1) и патент N2702760 способ получения добавки в моторное масло на основе наноразмерного порошка диоксида кремния.

В статье Болоева Т. А. и др., опубликованный в научном журнале «Вестник БГУ», рассмотрены физико-химические аспекты наноматериалов для литий-ионных аккумуляторов, позволяющих ускорить процессы зарядки до 10 минут вместо 6–8 часов.

В Институте математики, физики и компьютерных наук БГУ разработаны модели и алгоритм решения задач искусственного интеллекта при управлении БПЛА.

Программа разработана на основе MATLAB и функционала:

- взаимного движения;
- расчета вектора управления;
- алгоритма распределения на расстоянии;
- алгоритма распределения на время.

Она используется при решении проблемы теории управления и робототехники. Актуальность данной проблемы обусловлена растущими требованиями к автономности и эффективности современных технических систем.

Примечательно, что к автотракторным двигателям ИИ используется для управления рабочими процессами внутри цилиндра и всех систем и механизмов,

без участия оператора на неустановившихся режимах, а также с учетом климатических и зональных условий эксплуатации [1; 2].

Для линеаризации зависимости (1) желательно варьировать режимами работы, т. е. выбирать оптимальный режим нагрузки, частоты вращения, температуры, давления. В качестве диагностических сигналов рассматриваются амплитуда, фаза, среднее, среднее квадратическое, максимальное значение сигнала и т. д.

Детально изучены остальные зависимости. Коэффициент  $r$  парной корреляции между  $j$ -м диагностическим параметром к структурным применяется в качестве критерия тесноты связи. Диагностические параметры, для которых коэффициент парной корреляции мал, исключают. Для остальных рассчитывают значения обобщающего показателя связи:

$$g = \frac{r}{\delta \Pi_{gj}} (j = 1, 2, \dots, e), \quad (1)$$

где  $\frac{\delta f}{\delta \Pi_{gj}}$  — частная производная функция (1) по  $\Pi_{gj}$  в точке, ордината которой равна допускаемому значению параметра;  $e$  — число оставшихся изучаемых диагностических параметров.

Неявные значения обобщающего показателя связи следует считать основанием для выбора номенклатуры диагностических параметров.

Выбор диагностического параметра одновременно определяет и использование конкретного метода диагностирования. Под методом диагностирования понимают совокупность способов и приемов, обеспечивающих измерение диагностических параметров, являющихся характеристиками определенного физического процесса.

С повышением точности и уменьшением трудоемкости измерения структурных параметров повышается эффективность технического диагностирования.

Критерий оптимальной погрешности измерения должен учитывать издержки на измерение с определением средней квадратической погрешности структурного параметра и дополнительные издержки на ремонт и техническое обслуживание диагностируемого элемента, вызванные погрешностью измерения структурного параметра.

При плотности распределения непрерывной случайной величины — погрешности измерения параметра —  $\varphi(x)$  вероятность соответственно преждевременной или поздней замены при использовании альтернативных видов топлива составит:

$$\int_{D-u}^{\infty} \varphi(x)dx \quad \text{и} \quad \int_{-\infty}^{D-u} \varphi(x)dx \quad (2)$$

Взвешивая каждый элемент вероятности дополнительными издержками на ремонт и техническое обслуживание  $\psi(x)$ , вызванными измерением параметра с погрешностью  $x$ , получим дополнительные вероятные издержки, связанные соответственно с преждевременной и поздней заменой:

$$\int_{D-u}^{\infty} \varphi(x)\psi_1(x)dx \quad \text{и} \quad \int_{-\infty}^{D-u} \varphi(x)\psi_2(x)dx \quad (3)$$

Интегралы (3) и (4) зависят от изменения параметра к моменту контроля и. Влияние изменения параметра на вероятность ошибочной замены и вероятные дополнительные издержки будут наибольшими при

$$D - x_n \leq u \leq D + x_n, \quad (4)$$

где  $x_n$  — предельная погрешность измерения. Величина и в интервале от  $D - x_{\Pi}$  до  $D$  влияет на вероятность преждевременной, а в интервале от  $D$  до  $D + x_{\Pi}$  — поздней замены.

Закон распределения величины и в диапазоне, характеризуемом (5) при стационарном потоке отказов, можно принять равномерным с плотностью

$$\varphi_1(u) = \frac{1}{2x_{\Pi}} \quad (5)$$

Тогда математическое ожидание дополнительных издержек с учетом системы двух случайных величин  $x$  и  $u$

$$C_{\Pi j}(\delta) = \int_{D-x_n}^D \int_{D-u}^{\infty} \varphi(x) \psi_1(x) \varphi_1 dx du + \int_D^{D+x_n} \int_{-\infty}^{D-u} \varphi(x) \psi_2(x) \varphi_1 dx du \quad (6)$$

Дополнительные издержки  $\psi_1$  на ремонт и техническое обслуживание элемента в зависимости от погрешности измерения его структурного параметра  $x$  в первом приближении равны издержкам от неоптимальности на величину  $x$  допускаемого изменения того же параметра.

При использовании альтернативных видов топлива издержки в ту иную сторону будут зависеть от режимов эксплуатации, климатических и зональных условий [2].

Выводы:

1. Систематизированный поиск неисправностей ускоряет процесс диагностики.
2. Корреляционные связи между диагностическим и структурным параметрами позволяет повысить качество процесса поиска.
3. Дополнительные издержки или экономия на ремонт и техническое обслуживание могут возникнуть при использовании различных видов альтернативного топлива.

Полученные результаты подтверждают высокую эффективность интеграции нанотехнологий и интеллектуальных методов диагностики в системы технического обслуживания и ремонта современной мобильной техники.

### Литература

1. Техническая диагностика тракторов и зерноуборочных комбайнов: руководство / В. А. Аллилуев [и др.]; под общей редакцией В. М. Михлина. Москва: Колос, 1978. 287 с. Текст: непосредственный.
2. Горелик Г. Б. Водотопливная эмульсия — альтернативное топливо. XXI века: монография. Тихоокеан. гос. ун-т. Хабаровск: ТОГУ, 2019. 202 с. Текст: непосредственный.
3. Эффективность использования природного газа в качестве топлива для автотракторных двигателей / П. А. Болоев, Т. В. Бодакина, Е. В. Елтошкина, Т. П. Гергенова // Вестник ВСГУТУ. 2022. № 3(86). С. 69–74. Текст: непосредственный.

Статья поступила в редакцию 01.12.2025; одобрена после рецензирования 09.12.2025; принята к публикации 10.12.2025.

The Use of Additives and Nanotechnologies  
in the Maintenance and Repair of Mobile Equipment

Petr A. Boloev  
Dr. Sci. (Technology), Prof.  
pboloev@mail.ru

*Gennadii D. Mironov*  
Research Assistant  
[box.gmirr@gmail.com](mailto:box.gmirr@gmail.com)

*Vadim N. Nechkin*  
Research Assistant  
[nvofficialpro@mail.ru](mailto:nvofficialpro@mail.ru)

*Galina B. Zanaeva*  
Student  
[zanaeva@bk.ru](mailto:zanaeva@bk.ru)

Dorzh Banzarov Buryat State University  
24a Smolina St., 670000 Ulan-Ude, Russia

*Abstract.* The article examines modern approaches to extending the service life of rapidly wearing components in mobile equipment through the application of additives and nanotechnologies during maintenance and repair. The results of studies conducted at leading Russian scientific and educational institutions have been presented, including Mordovian State University, Goryachkin Moscow State Agro-Engineering University, Ulyanovsk Higher Military Technical School, Irkutsk State Agrarian University, and Buryat State University. Developments in nanostructured coatings (based on CrB<sub>2</sub>, SiC, Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ca-BN, and others), nano-diamond additives (*NANO DIAMOND GREEN RUN*), lubricating compositions, and fuel additives – including patented formulations based on rapeseed oil and nanoscale SiO<sub>2</sub> – are described. It is shown that the use of these materials increases surface hardness by 1.5–2 times and reduces component wear by 20–50%.

Additionally, methods for intelligent diagnostics of equipment condition using artificial intelligence and MATLAB-implemented algorithms for managing autonomous systems, including mobile equipment engines, are discussed. A mathematical model for optimizing diagnostic parameters based on pairwise correlation coefficients and cost-minimization criteria related to measurement errors is proposed. It is demonstrated that accurate consideration of climatic, operational, and fuel-related factors can significantly enhance the effectiveness of maintenance, particularly when alternative fuels are used.

*Keywords:* nanotechnologies, additives, mobile equipment, nanocoatings, electro-composite coatings, nano-diamonds, lubricating compositions, diagnostic parameters, wear resistance, cost optimization

*For citation*

Boloev P. A., Mironov G. D., Nechkin V. N., Zanaeva G. B. The Use of Additives and Nanotechnologies in the Maintenance and Repair of Mobile Equipment. *Bulletin of Buryat State University. Chemistry. Physics.* 2025; 4: 26–30 (In Rus.).

*The article was submitted 01.12.2025; approved after reviewing 09.12.2025; accepted for publication 10.12.2025.*