



## Современный общественный автомобильный транспорт. Тактика обеспечения работоспособности.

*А.И. Недолужко, А.А. Котесова, И.А. Ващенко, А.А. Великородов,  
В.М. Городов, А.А. Коваль*

*Донской государственный технический университет, Ростов – на – Дону*

**Аннотация:** Экономико- вероятностным методом оценивается целесообразность тактик проведения ТО по наработке и по техническому состоянию для автобусов оборудованных электронными блоками управления. Обоснована схема определения предельных значений диагностических параметров. Показано, что реализация ТО по состоянию целесообразно тогда, когда экономические затраты, связанные с затратами на диагностирование и прогнозирование технического состояния автобусов не являются определяющими.

**Ключевые слова:** стратегия, тактика, метод, параметр, техническое обслуживание, ремонт, стоимость, надежность, эксплуатация, техническое состояние.

В настоящее время более 53% всех видов пассажирских перевозок страны осуществляется общественным автомобильным транспортом. Специфические особенности пассажирских перевозок определяются условиями эксплуатации и требованиями к безопасности и экологии. В общем случае условия эксплуатации автобусов определяются следующими факторами (1):

$$\tau = f(V_1, V_2, M, T_n) \quad (1)$$

где  $\tau$  -условия эксплуатации автобусов;  $V_1$ -внешние условия (тип дороги, условия движения, климатические и сезонные условия, рельеф местности и др.);  $V_2$ -внутренние условия (возраст, типы, марки, модели автобусов, количество автобусов на предприятии и др.);  $M$ -местные, или субъективные условия по отношению к каждому автобусу или группе автобусов (квалификация водителей, стиль вождения, расстояния, скорость, загрузка, вид перевозок и др.);  $T_n$  -требования к перевозкам (обеспечение комфортабельных

и безопасных условий перевозок пассажиров, надёжная работа на линии, экологичность транспортного средства, наличие сертификата соответствия требованиям безопасности и др.).

Условия эксплуатации влияют на режим работы его агрегатов, систем и деталей, ускоряя или замедляя параметры их технического состояния по схеме:

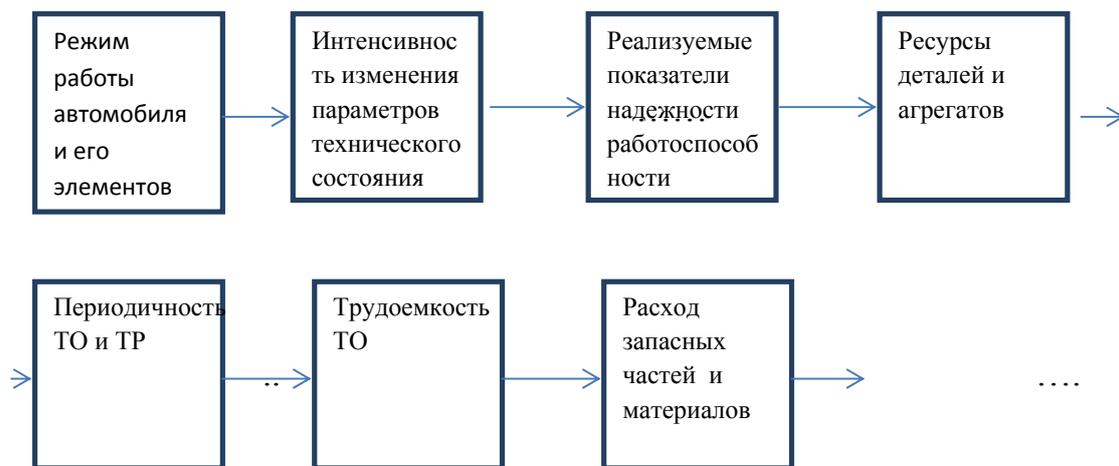


Рис.1.-Влияние режимов работы автобусов на параметры технического состояния

Динамика изменения технического состояния автобуса в общем виде может быть определена зависимостью (2):

$$Y_t = [Y_H \rightarrow Y_1 \rightarrow Y_2 \rightarrow \dots Y_{ПД} \rightarrow Y_{П}] \quad (2)$$

где -  $Y_H$  начальное значение технического состояния, определяемое проектно-конструкторской документацией и качеством изготовления автомобиля;  $Y_{П}$  - предельное значение технического состояния, превышение которого приводит к отказу автомобиля;  $Y_{ПД}$  - предельно допустимое значение, предшествующее предельному, и требующее оперативного



вмешательства по восстановлению технического состояния;  $Y_t$  - фактическое текущее техническое состояние. Изменение технического состояния при эксплуатации автомобиля в пределах  $Y_n \leq Y_t = Y_n$  характеризует его ресурс. Нарботка автомобиля, при котором  $Y_{нд} \leq Y_t < Y_n$  свидетельствует о приближении отказа и необходимости принять меры по поддержанию его работоспособности. В известных стратегиях [4-6] обеспечения работоспособности автомобильного транспорта нет единого подхода к выбору и обоснованию тактики проведения профилактических и ремонтных работ. При первой тактике автомобиль, достигший определенной наработки, направляется на регламентируемые документами технические воздействия, при которых его параметры доводятся до номинальных или близких к ним значениям. При этом расчетные периодичности определенные различными методами имеют значительное расхождение. При второй тактике проводится постоянный или периодический контроль технического состояния или уровня надежности, а необходимое воздействие осуществляется по результатам этого контроля. Многообразие факторов, влияющих на изменение технического состояния конкретного автобуса, требуют постоянного или выборочного контроля за работой его агрегатов и систем.

При этом тактику с диагностикой параметров технического состояния автобусов, направленную на раннее обнаружение неисправностей и их своевременное устранение следует считать наиболее предпочтительной;

В работах [9,10] нами была обоснована необходимость перехода для современных автомобилей именно к такой тактике. В качестве критериев оптимальности при выборе тактики могут быть приняты либо прибыль от эксплуатации автобусов, либо суммарные затраты на их функционирование.

---

Проанализируем функцию, определяющую удельные затраты при реализации второй тактики (3):

$$C_{1-2} = \frac{CF + R_1(d_k + d_n) + R_2d_k}{Fl_{\text{то}} + R_1l_{\text{то}} + 2l_{\text{то}}R_2} \quad (3)$$

где С-затраты на ремонт, F-вероятность отказа изделий при наработке;

$R_1$ -вероятность отказа изделий в интервале наработки;

$R_2$ - вероятность отказа изделий при наработке ;

$d_k$  -стоимость контрольной операции(диагностики);

$d_n$  - стоимость исполнительской операции.

Определив графически или аналитически по зависимости (3) минимальные удельные затраты при оптимальной периодичности наработки, проведем обоснование применения тактик обеспечения работоспособности современных автобусов, сравнивая их только с ремонтом.  $C_{\text{II}}$  Обозначив  $C_{1-1}$

удельные затраты проведения ТО по наработке с оптимальной периодичностью  $l_{o1}$ , а через  $C_{1-2}$  удельные затраты при проведении ТО по состоянию с оптимальной периодичностью получаем следующее:

вторую тактику (проведение ТО по состоянию с оптимальной периодичностью) целесообразно применять при следующих соотношениях удельных затрат (4):

$$\begin{aligned} C_{\text{II}} > C_{1-1} > C_{1-2} \\ C_{1-1} > C_{1-2} \end{aligned} \quad (4)$$

Принципиальная возможность и внедрение ТО и ТР по техническому состоянию обеспечивает увеличение средней наработки деталей и их сборочных единиц между заменами в 1,5-2 раза, сокращение удельных приведенных затрат на ТО и ТР в 1,5 раза [7,8].

С другой стороны, оперативный контроль технического состояния общественного транспорта может обеспечить высокую безотказность и предотвратить внезапные отказы, зачастую ведущие к аварийной ситуации.

Вторая тактика предполагает использование изделий автомобилей до предотказного состояния. Для выявления предотказного состояния изделий используется принцип назначения упреждающих допусков на диагностические параметры [8,11,12]. Суть такого подхода приведена на рисунке 2.

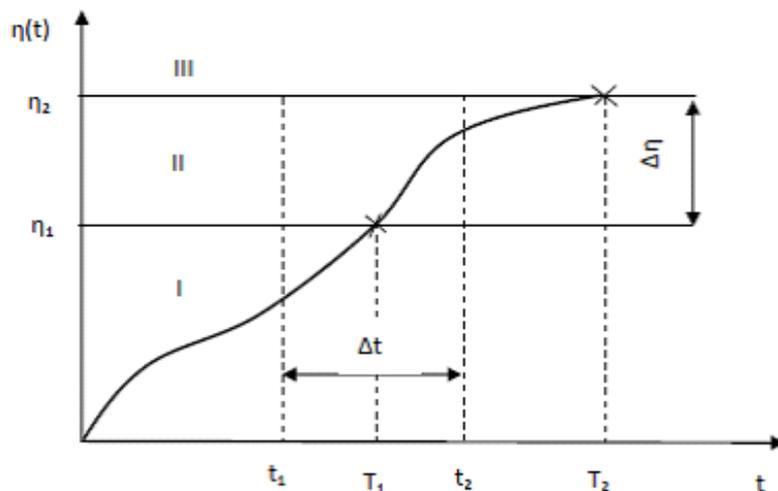


Рисунок 2-Принцип назначения упреждающих допусков

I-зона исправного и работоспособного состояния; II-зона упреждения; III-зона неработоспособного состояния;  $t_1$ ,  $t_2$ -время первой и второй проверок;  $T_1, T_2$ -точки пересечения реализацией случайного процесса ( $t$ ) уровней  $\eta_1$  и  $\eta_2$ . Под упреждающим допуском понимается значение параметра находящегося между предельным и пред отказным его уровнями. Для реализации второй тактики необходимо установить количественные связи между значениями упреждающих допусков и периодичностью их проверок. Однако, следует иметь



в виду, что крайние значения диагностических параметров являются пограничными и могут соответствовать как исправному, так и неисправному состоянию объекта. Область рассеивания диагностического параметра с учетом ошибок первого и второго рода необходимо ограничить пределами, соответствующими требуемому уровню вероятности исправной работы.

В зависимости от закономерностей изменения диагностического параметра его рассеивание может быть ограничено с одной или с двух сторон.

Предельные нормативы для механизмов, ответственных за активную безопасность автобусов ограничиваются более жестким уровнем безопасности. Для остальных механизмов можно выбрать менее жесткие ограничения исходя из экономических соображений. Экономический критерий тогда определится из условия равенства затрат на предупреждение отказов  $C_{\text{ПР}}$  и затрат на их устранение  $C_{\text{р}}$ , выраженного формулой  $C_{\text{ПР}} = \xi C_{\text{р}}$ ,

где  $\xi$  - коэффициент своевременности технического воздействия, характеризующий вероятность попадания случайной величины на задаваемый участок распределения отказов.

Часто изменение диагностических параметров представляется в виде функции (5):

$$Q = \nu l^{\alpha} + Q_0 \quad (5)$$

где  $Q_0$  – начальное значение параметра;  $\nu$  – коэффициент, характеризующий скорость изменения параметра, зависящий от условий эксплуатации и режимов работы элемента;  $l$  -наработка;  $\alpha$  – показатель степени, зависящий от материала, конструкции и геометрических параметров элементов.



Тогда, зная межконтрольный пробег  $l_d$ , величину предельного норматива

$Q_{\Pi}$  и скорость изменения параметра  $v$ , значение допустимого норматива определяется по формуле (6):

$$Q_d = v \left( \sqrt[\alpha]{\frac{Q_{\Pi}}{v}} - l_d \right) \quad (6)$$

Зная законы распределения диагностических параметров, задаваясь уровнями требуемой безопасности, сравнительно легко определяются их предельные нормативы. Для нормального закона, например, при двухстороннем ограничении они составят [1-3] (7).

$$S_{\Pi 0,85} = S_{cp} \pm 1,5\sqrt{Ds}; \quad S_{\Pi 0,95} = S_{cp} \pm 2\sqrt{Ds} \quad (7)$$

где  $Ds$  – дисперсия распределения диагностического параметра.

При одностороннем (верхнем) ограничении предельные нормативы будут иметь следующие значения (8):

$$S_{\Pi 0,85} = S_{cp} + \sqrt{Ds}; \quad S_{\Pi 0,95} = S_{cp} + 1,7\sqrt{Ds} \quad (8)$$

Таким образом, реализация тактики ТО по состоянию целесообразно тогда, когда экономические затраты, связанные с затратами на диагностирование и прогнозирование, автомобилей не являются определяющими. Одним из условий успешной реализации этой тактики является наличие бортовой системы учета работы и диагностики технического состояния, преобладание у диагностируемых узлов, агрегатов и систем автомобилей постепенных отказов над внезапными. Обеспечение современных автобусов приборами бортового диагностирования (электронного сканирования), компьютерными системами управления и контроля над



рабочими процессами двигателей позволяет в непрерывном режиме отслеживать техническое состояние агрегатов и корректировать параметры их работы в сторону оптимальных значений. Электронные блоки управления (ЭБУ) как правило, включают контрольный и функциональный модули. Контрольный модуль фиксирует отклонения от допустимого уровня контролируемых параметров осуществляет их корректировку и выдает на приборную панель соответствующую пиктограмму или же информационную надпись check-engine. Функциональный модуль, принимая и обрабатывая полученные от датчиков данные, управляет исполнительными устройствами.

При положительном результате диагностирования объекта желательно иметь еще информацию о его остаточном ресурсе. При отрицательном значении (объект неработоспособен) - заключение о конкретных отказах и неисправностях.

### Литература

1. Баженов Ю.В Основы теории надежности машин. Учебное пособие : "Инфра-М, Форум", 2014.- 320 с.
2. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем: Учебное пособие / Е.Ю. Барзилович. – М.: Высшая школа, 1982. – 158 с.
3. Бышов Н.В. и др. Методы определения рациональной периодичности контроля технического состояния тормозной системы мобильной сельскохозяйственной техники. Электронный журнал «Научный журнал КубГАУ». – 2013, №02 с. 8-10.
4. Вишневецкий Ю. Т. Техническая эксплуатация, обслуживание и ремонт автомобилей. М.: Дашков и К°, 2006. 380 с.



5. Власов В.М. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей. М.: «Академия», 2003. 480 с.
6. Васильев В.И., Жаров, С.П. Совершенствование методики корректирования нормативов управления эксплуатацией подвижного состава предприятий автомобильного транспорта региональных транспортных систем. Современные проблемы науки и образования. 2012. №6. с. 7-9.
7. Кузнецов Е.С., Болдин А.П., Власов В.М и др. Техническая эксплуатация автомобилей. М.: Наука, 2001. 535 с.
8. Карагодин, В.И., Митрохин Н.Н. Ремонт машин и двигателей: учебник для студ. сред. проф. учеб. Заведений. М.: Мастерство; Высш. школа, 2012. – 306 с.
9. Недолужко А.И, Детлер М.Ф, Криворотов А.В, Парубец А.Ю К вопросу применения нормативов планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта к современным автомобилям // Инженерный вестник Дона, 2017, №2 URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_5\\_Nedoluzhko.pdf\\_63fbd3389c.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_5_Nedoluzhko.pdf_63fbd3389c.pdf).
10. Недолужко А.И, Котесова А.А, Детлер М.Ф, Криворотов А.В, Парубец А.Ю Особенности оценки эффективности деятельности передвижных авторемонтных мастерских при обслуживании автомобильной техники // Инженерный вестник Дона, 2017, №4 URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_92\\_Nedoluzhko\\_\\_Kotesova.pdf\\_1677c6de49.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_92_Nedoluzhko__Kotesova.pdf_1677c6de49.pdf).
11. Taghipour, S., Banjevic D. Optimum inspection interval for a system under periodic and opportunistic inspections // Iie Transactions. – 2012. – Vol. 44. – № 11. – pp. 932-948



12. Kardon, B., Fredendall L.D. Incorporating overall probability of system failure into a preventive maintenance model for a serial system // Journal of Quality in Maintenance Engineering. – 2002. – Volume 8, Number 4. – pp. 331-345
13. Tracy Martin How to diagnose and repair automotive electrical systems: Motorbooks Workshop, 2005. 159 p.

### References

1. Bazhenov YU.V Osnovy teorii nadezhnosti mashin [Fundamentals of the theory of reliability of machines]. Uchebnoe posobie: "Infra-M, Forum", 2014. 320 p.
2. Barzilovich E.YU. Modeli tekhnicheskogo obsluzhivaniya slozhnyh sistem: Uchebnoe posobie [Models of maintenance of complex systems: tutorial]. M.: Vysshaya shkola, 1982. 158 p.
3. Byshov N.V. i dr. EHlektronnyj zhurnal «Nauchnyj zhurnal KubGAU». 2013, №02 p. 8-10.
4. Vishneveckij YU. T. Tekhnicheskaya ehkspluatatsiya, obsluzhivanie i remont avtomobilej. [Technical operation, maintenance and repair of cars. [ M.: Dashkov i K°, 2006. 380 p.
5. Vlasov V.M. Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont avtomobilej.[ Maintenance and repair of cars.] M.: «Akademiya», 2003. 480 p.
6. Vasil'ev V.I., ZHarov, S.P. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2012. №6. p. 9.
7. Kuznecov E.S., Boldin A.P., Vlasov V.M i dr. Tekhnicheskaya ehkspluatatsiya avtomobilej. [Technical operation of vehicles.] M.: Nauka, 2001. 535 p.
8. Karagodin, V.I., Mitrohin N.N. Remont mashin i dvigatelej: uchebnik dlya stud. sred. prof. ucheb. Zavedenij. [Repair of cars and engines: textbook for students.



environments'. prof. studies. Institutions'.] M.: Masterstvo; Vyssh. shkola, 2012. 306 p.

9. Nedoluzhko A.I, Detler M.F, Krivorotov A.V, Parubec A.YU Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №2. URL:

[ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_5\\_Nedoluzhko.pdf\\_63fbd3389c.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_5_Nedoluzhko.pdf_63fbd3389c.pdf)

10. Nedoluzhko A.I, Kotesova A.A, Detler M.F, Krivorotov A.V, Parubec A.YU Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №4. URL:

[ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_92\\_Nedoluzhko\\_\\_Kotesova.pdf\\_1677c6de49.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_92_Nedoluzhko__Kotesova.pdf_1677c6de49.pdf).

11. Taghipour, S., Banjevic D. Optimum inspection interval for a system under periodic and opportunistic inspections. Iie Transactions. 2012. Vol. 44. № 11. 948 p.

12. Kardon, B., Fredendall L.D. Journal of Quality in Maintenance Engineering. 2002. Volume 8, Number 4. 345 p.

13. Tracy Martin How to diagnose and repair automotive electrical systems: Motorbooks Workshop, 2005. 159 p.