

Определение периодичности технического обслуживания автомобилей

*И.С. Коберси¹, Е.Р. Крамаренко¹, Д.В. Шкуркин², Г.В. Денисова¹,
В.И. Финаев³*

¹Донской государственной университет, ²ООО «ЭльДирект», ³Южный федеральный университет

Аннотация: В работе рассмотрены методы определения периодичности технического обслуживания (ТО). Предложенная методика позволяет имитировать техническое состояние транспортного средства при различных условиях и режимах его движения, с учетом случайного характера изменения различных факторов. Предлагаемая методика учитывает вероятность возникновения отказа при заданном пробеге транспортного средства (ТС), как обобщенная характеристика технического состояния автомобиля, косвенно влияющая большинства его внутренних индивидуальных особенностей и внешних дестабилизирующих факторов. Новизна методики заключается в том, что учитывается не только нормативный пробег, но и оптимальный набор операций в конкретном варианте ТО и ремонта. Для учета отдельно взятого ТС коэффициенты корректирования нормативов периодичности ТО рассчитываются с помощью аппарата нечеткой логики.

Ключевые слова: производственная программа автотранспортного предприятия, оценка технического состояния транспортного средства, периодичности ТО, нечеткая логика.

Введение

Современный автомобиль представляет собой сложную систему, представляющую собой совокупность совместно действующих элементов – узлов, механизмов, соединений, агрегатов, обеспечивающих выполнение определенных функций. Безопасность и экономическая целесообразность использования автомобиля обеспечиваются его техническим состоянием [1]. Изменение технического состояния при эксплуатации автомобилей связано с влиянием на него различных механических, физических и климатических факторов [2]. Цель технической эксплуатации – определить рациональный набор профилактических операций, что позволит оценить трудоемкость ТО и осуществлять планирование постов, требуемого оборудования и персонала.

Количество и трудоемкость воздействий на ТС по видам технического обслуживания (ТО) и ремонта автомобилей, исчисляемых за год, месяц,

смену определяется производственной программой автотранспортных предприятий (АТП). Оптимальная производственная программа позволяет снизить: трудоемкость текущего ремонта; количество простоев ТС; дорожно-транспортных происшествий (ДТП); продолжительность простоя автомобилей на станциях технического обслуживания (СТО). Кроме того, затраты на поддержание работоспособности парка ТС напрямую влияют на себестоимость перевозок.

Основная часть

При составлении производственной программы необходимо установить периодичность технического обслуживания (ТО) и ремонта парка автомобилей [3]. Многообразие и различные значения факторов, определяющее техническое состояние автомобилей, затрудняет точное определение периодичности ТО и ремонта. Например, метод определения периодичности по допустимому уровню безотказности предполагает, что вероятность отказа не превышает заранее заданной величины. К недостаткам метода определения периодичности по допустимому уровню безотказности относят неполное использование ресурса изделия и отсутствие экономических оценок последствий отказов.

Определить периодичность ТО можно по интенсивности изменения параметра технического состояния конкретного j -го изделия. Период обслуживания при этом не должен превышать времени достижения предельно допустимого значения заданного параметра. К недостаткам данного метода относится то, что не учитываются экономические факторы и их последствия, а также необходимо получать информацию об закономерностях изменения параметров. Поэтому такой метод удобно применять при стратегии обслуживания по состоянию, когда регламентируются контрольные проверки, а по их результатам делать заключение о проведении профилактических работ.

Технико-экономический метод сводится к определению суммарных удельных затрат на ТО и ремонт, и их минимизация. Увеличение периодичности ТО приводит к уменьшению ресурса изделия и, следовательно, к росту удельных затрат на ремонт. Минимальным суммарным затратам на ТО и ремонт соответствует оптимальная периодичность ТО. Такой метод, однако, не учитывает случайность показателей безотказности.

Экономико-вероятностный метод объединяет последние три метода и позволяет рассчитать рациональную периодичность ТО изделия исходя из заданного сокращения потока отказов между двумя последовательными ТО при заданном уровне безотказности. Недостатки: снижение периодичности по сравнению с использованием только экономических критериев; не учитывает изделия с потенциальной наработкой на отказ, поэтому не выделяет операции, которые можно только контролировать, а выполнение работ производить только при следующем ТО, то есть применять стратегию по состоянию.

При определении оптимальной периодичности ТО учитывают наработку (пробег) частей и узлов деталей автомобиля, группировку по стержневым операциям или технико-экономический метод. Каждый узел, механизм, соединение имеют свою оптимальную периодичность. Тогда периодичность обслуживания автомобиля уменьшается вплоть до ежедневного, что значительно увеличивает затраты на ТО и ремонт.

Метод группировки по стержневым операциям ТО основан на том, что выполнение операций ТО приурочивается к оптимальной периодичности стержневых операций, которые обладают следующими признаками: влияют на экологическую и дорожную безопасность автомобиля; влияют на работоспособность, безотказность, экономичность автомобиля; характеризуются большой трудоемкостью, требуют специальных

оборудования и конструкции постов; регулярно повторяются. Примерами подобных стержневых операций или групп операций являются: проверка и регулирование тормозной системы; проверка токсичности отработавших газов и соответствующая регулировка систем двигателя; смена масла в картере двигателя.

При технико-экономическом методе определяют такую групповую периодичность, которая соответствует минимальным суммарным затратам на ТО и ремонт автомобиля по всем рассматриваемым объектам.

Однако все перечисленные методы затрудняют определение технического состояния отдельно взятого ТС. Наличие такой оценки позволило бы определить перечень выполняемых операций, их периодичность и трудоемкость. Для учета отдельно взятого ТС в расчетах нормативов периодичности ТО, пробега до капитально о ремонта используют коэффициенты корректирования, которые зависят от: условий эксплуатации автомобилей; модификации подвижного состава и организации его работы; природно-климатических условий; пробега с начала эксплуатации; размеров автотранспортного предприятия и количества технологически совместимых групп подвижного состава [4]. Использование существующих критериев оценки периодичности имеет определенную погрешность выбора состояния отдельно взятого транспортного средства, поскольку перечисленные условия не могут быть описаны точно и однозначно, например, движение в городе в час пик или в ночное время. Имеется некоторая вероятность и случайность, с которой пробег данного транспортного средства попадает в определенную категорию условий эксплуатации. Кроме того, каждый автомобиль имеет свою индивидуальную особенность. На техническое состояние автомобиля влияет качество деталей, качество предыдущего ТО и ремонта, профессионализм вождения и др.

Поэтому прогнозирование технического состояния подвижного состава автотранспортного предприятия относят к классу многокритериальных, слабоструктурированных задач и чтобы адекватно отразить реальную ситуацию, необходимо учесть имеющейся в задаче неопределенность, вызванную нечеткостью, расплывчатостью как условий эксплуатации, так и информации, их описывающей. Решая такую задачу целесообразно найти критерии, которые позволят количественно определить степень риска возникновения отказов на каждом транспортном средстве при существующих условиях эксплуатации и пробеге ТС, а также влияние характеристик ТС на безопасность движения. Для этого можно использовать широко разработанную на сегодняшний день методику имитационного моделирования случайных процессов с использованием теории нечетких множеств [5-7].

Основными двумя задачами, решаемыми системой технической эксплуатации, являются минимизация затрат на ТО и ремонт при заданном уровне безотказности, и минимизация риска возникновения ДТП или простоя ТС при фиксированном объеме затрат на ТО.

Пусть имеется множество из A транспортных средств, для которого существует множество P различных профилактических операций, а также множество W , определяющее затраты на реализацию каждого варианта.

Стоимость реализации программы ТО, предусматривающей выполнение всего множества A из j автомобилей по i -ому варианту списка работ определяется из выражения

$$W_i = \sum_{j=1}^J C_{ij} \cdot X_{ij}, \quad (1)$$

где C_{ij} – стоимость реализации i - го вида работ j -го автомобиля; X_{ij} – переменная, принимающая значение «0» или «1» в зависимости от того,

предусмотрена или нет данный вид работ для j -го автомобиля по i -му варианту.

Тогда задача минимизации затрат на ТО и ремонт при заданном уровне безотказности сводится к отысканию i -го варианта программы выполняемых видов работ, обеспечивающего экстремум функции:

$$Q(i) = \max \{ p_i \cdot (R[S] - \sum_{j=1}^J C_{ij} \cdot X_{ij},) \} \quad (2)$$

где p_i – переменная, принимающая значение «0» или «1» в зависимости от того, принят или отвергнут данный вариант; $R[S]$ – ограничение ресурсов.

Значение $Q(i)$ находится при условии обеспечения требуемого уровня безотказности для каждого ТС, оцениваемого вероятностью возникновения отказа R_Q при заданном пробеге \bar{L}_Π при $j = 1, 2, \dots, J$ (3), или среднего значения требуемого уровня безотказности на рассматриваемом множестве A (4).

$$\bar{L}_\Pi^*(j) \leq R_Q[\bar{L}_\Pi], \quad (3)$$

$$\frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \bar{L}_\Pi^*(j) \leq R_Q[\bar{L}_\Pi]. \quad (4)$$

Задача минимизации риска возникновения ДТП или простоя ТС при фиксированном объеме затрат на ТО сводится к нахождению i -го варианта программы выполняемых видов работ ТО рассматриваемого множества из A автомобилей [6, 8-10], обеспечивающего максимально возможный уровень надежности $\theta(i)$ при заданном ограничении стоимости $R[S]$. Значение $\theta(i)$ рассчитывается по формуле

$$\theta(i) = \min \{ p_i \cdot [\frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \bar{L}_\Pi^*(j)] \}. \quad (5)$$

В зависимости от вида накладываемых ограничений обеспечивается поиск одного из вариантов решения рассматриваемой задачи. Обеспечение заданного уровня безотказности по допустимой вероятности безотказной

работы $R_Q[\bar{L}_\Pi]$ для каждого транспортного средства определяется из неравенства:

$$\{p_i \cdot (R[S] - \sum_{j=1}^J C_{ij} \cdot X_{ij}) \geq 0\} \wedge \{L_{\Pi}^*(j) \leq R_Q[\bar{L}_g]\} \quad (6)$$

Пусть каждое значение множества факторов (условий эксплуатации ТС) Z_i ($i \in J = \{1, 2, \dots, k\}$), учитываемых при определении перечня выполняемых операций и их периодичности, описывается лингвистической переменной $\langle Z_i, T_i, \beta_i \rangle$, где $T_i = \{T_1^i, T_2^i, \dots, T_n^i\}$ – набор лингвистических значения одного из характеризующих ТС признаков Z_i ; β_i – базовое множество данного признака. Описание термов T_j^i осуществляется нечеткими переменными $\langle T_j^i, \beta_i, \tilde{\varepsilon}_j^i \rangle$ и задается нечетким множеством $\tilde{\varepsilon}_j^i$ в базовом множестве β_i признака Z_i :

$$\tilde{\varepsilon}_j^i = \{ \langle \mu_{\tilde{\varepsilon}_j^i}(b) / b \rangle, b \in \beta_i \}. \quad (7)$$

Для условий эксплуатации ТС имеем лингвистические переменные «ИНТЕНСИВНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ АВТОТРАНСПОРТА», «СОСТОЯНИЕ ДОРОГ», «ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ», «ПРОБЕГ АВТОМОБИЛЯ», которые определены на базовых множествах $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ рассматриваемых признаков Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 . В расчетах используем термножества:

$$T_1 = \{ \langle \text{«МАЛАЯ»}, \text{«СРЕДНЯЯ»}, \text{«БОЛЬШАЯ»}, \text{«ОЧЕНЬ БОЛЬШАЯ»} \rangle \}$$

$$T_2 = \{ \langle \text{«ПЛОХОЕ»}, \text{«УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОЕ»}, \text{«ХОРОШЕЕ»} \rangle \}$$

$$T_3 = \{ \langle \text{«МЯГКИЕ»}, \text{«УМЕРЕННЫЕ»}, \text{«СУРОВЫЕ»} \rangle \}$$

$$T_4 = \{ \langle \text{«МАЛЫЙ»}, \text{«СРЕДНИЙ»}, \text{«БОЛЬШОЙ»} \rangle \}.$$

Все возможные комбинации значений лингвистических переменных сводятся к $4 \times 3 \times 3 \times 3$ типовым ситуациям, каждая из которых определяет принадлежность ТС к одной из сформированных категорий. Комбинация значений признаков Z_i с помощью правил нечеткого вывода задаются типовыми ситуациями условий эксплуатации транспортного средства.

Например, ТС относится к номеру группы I если, <«интенсивность движения автотранспорта» – T_1 – «малая»> & <«состояние дорог» – T_2 – «хорошее» > & < «природно-климатические факторы» – T_3 – «мягкие» > & < «пробег автомобиля» – T_4 – «малый»>. Таким образом изменяется количество категорий эксплуатационных факторов, влияющих на техническое состояние автомобиля.

Зная зависимость технического состояния от Т-факторов можно определить ресурс ТС или периодичность его обслуживания. Сочетание признаков Z_i для конкретного ТС представляют собой нечеткую ситуацию

$$\tilde{S} = \{ \langle \mu_S(Z_i) / Z_i \rangle \}, Z_i \in Z, \quad (8)$$

где $\mu_S(Z_i)$ – степень принадлежности признака Z_i нечеткой ситуации [5-6, 11, 12].

Построение функции принадлежности для каждого признака Z_i проводилось методом экспертных оценок на основе Положения о ТО и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта и ОНТП-01-91.

Окончательное решение об оценке вероятности отказа ТС принимается путем объединения оценок по правилам нечеткой логики. Для этого разобьем все множество A автомобилей на три класса, описываемых с помощью лингвистической переменной P («уровень безотказности автомобиля»), что позволит определить категорию ТС, в зависимости от его состояния: $P = \{ \langle \text{«высокий»}, \text{«удовлетворительный»}, \text{«низкий»} \rangle \}$. Искомое значение уровня безотказности ТС определяется степенью принадлежности вероятности возникновения отказов ТС с учетом эксплуатационных факторов каждому из образованных нечетких множеств. Выполняя операцию дефазификации и используя метод центра тяжести, качественное значение лингвистической переменной «уровень безотказности автомобиля» преобразуется в количественное значение.

Заключение

Предложенная методика позволит нормировать уровень безотказности ТС на основе учета его индивидуальных особенностей и действующих эксплуатационных факторов, что снизит случайность при составлении программы технического обслуживания и ремонта автотранспортных предприятий. Для экономии трудозатрат и учета большего количества параметров при составлении программы профилактического обслуживания можно использовать систему поддержки принятия решения на основе создания электронного паспорта ТС [6]. В базе данных содержится информация о пробеге автомобиля, его маршрутах, техническом состоянии до и после профилактических операций, виды работ по ТО и ремонту, статистика отказавших систем и агрегатов и другие показатели, реально описывающий процесс эксплуатации автомобиля. База данных поможет в решении определенных задач организации ТО и прогнозирования коэффициента технической готовности парка автомобилей.

Литература

1. Крамаренко Е.Р. Разработка способов стабилизации сопротивления рельсовой линии (для железных дорог Дальневосточного региона). Спец. 05.22.08 - Эксплуатация ж.-д. трансп. (вкл. системы СЦБ): Автореферат. – Хабаровск: [б. и.], 1999. 20 с.
2. В.И. Шаманов, В.В. Косякин, Г.С. Березовский, А.В. Пультяков Обеспечение надежности токопроводящих элементов рельсовой линии при электротяге переменного тока // Автоматика, связь, информатика. 2002. №12. 28-32 с.
3. А.Г. Кириленко, А.И. Годяев, Е.Р. Крамаренко Экспериментальные исследования работы рельсовых цепей при вождении поездов повышенной

массы / // Инновационные технологии - транспорту и промышленности / ред. Ю. А. Давыдов. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2007. Т.2. 120-125 с.

4. Kobersy I.S., Kramarenko E.R, Shadrina V.V. and Denisova G. Vadimovna. Analysis of the Design of the Electrical Connector at the Junction Tramways. World Applied Sciences Journal 32 (8): 2014. pp.1595-1599.

5. Kobersy I.S., Ignatev V.V., Beloglazov D.A. and Kramarenko E.R. An intelligent navigator with the control of the car technical condition. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. VOL. 9, NO. 7, JULY 2014. – pp. 1094-1098.

6. Potarusov R., Kobersy I., Lebacque J.-P. Remaining Range Indicator System for Electric Vehicle. 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. URL:ppniv14.irccyn.ec-nantes.fr/PPNIV14_Introduction.pdf.

7. Datta A.K. Modelling and simulation of static excitation system in synchronous machine operation and investigation of shaft voltage // A.K. Datta, M. Dubey & S. Jain // Hindawi Publishing Corporation Advances in Electrical Engineering, 2014, Vol. 2014, pp. 9.

8. Габриэльян Д.Д., Енгибарян И.А., Сафарьян О.А. Оценивание частот генераторов на основе совместной обработки фаз формируемых сигналов // Инженерный вестник Дона, № 4 (часть 1), 2012 г. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1190.

9. Zeljko S. Synchronous generator modeling using Matlab // S. Zeljko M. Vedrana, K. Vedrana & J. Vedrana // Department of Electromechanical Engineering, Faculty of Electrical Engineering, University of Osijek, Croatia. pp. 6.

10. LaMeres Brock J. Design and implementation of a fuzzy logic-based voltage controller for voltage regulation of a synchronous generator // Brock J. LaMeres // Montana State University, pp. 9.



11. В.В. Соловьев, В.В. Шадрина Моделирование нечетких систем управления // Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010, 125 с.

12. Коберси И.С. Анализ работы подсистемы групповой синхронизации в синфазном и асинфазном режимах широкополосной системы радиосвязи с широтно-импульсной модуляцией // Инженерный вестник дона. № 4, 2014. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2759.

References

1. Kramarenko E.R. Razrabotka sposobov stabilizatsii soproyivleniya relsovoi linii (Dlya jeleznikh dorog Dalnovostochnovo regiona) [Development of methods for stabilizing resistance rail line (For railways Far East region)]. Spetsialnost 05.22.08. Ekspluatatsia j.-d. transp. (vkl. Sistemi CTSB): Avtoreferat. Khabarovsk: [b. i.], 1999. pp. 20.

2. V.I. Shamanov, V.V. Kosyanin, G.S. Berezovskyi, A.V. Pulyakov. Avtomatika, svyaz, informatika. 2002. №12. pp. 28-32.

3. A.G. Kirilrko, A.I. Godyaev, E.R. Kramarenko. Eksperementalnie issledovania raboti relsovikh tsepei pri vojdenii poezdov povishennoi massi. [Experimental studies of track circuits driving trains increased mass]. Inovatsionnie tekhnologii. transport I promishlennosti. red. Yu.A. Davidov, Khabarovsk: izd-vo DVGUPC, 2007. T. 2. pp. 120-125.

4. Kobersy, I.S., Kramarenko E.R, Shadrina V.V. and Denisova G. Vadimovna. Analysis of the Design of the Electrical Connector at the Junction Tramways. World Applied Sciences Journal, 2014, 32 (8): pp. 1595-1599.

5. Kobersy, I.S., Ignatev V.V., Beloglazov D.A. and Kramarenko E.R. An intelligent navigator with the control of the car technical condition. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol. 9, No. 7, July 2014. pp. 1094-1098.



6. Potarusov R., Kobersy I., Lebacque J.-P. Remaining Range Indicator System for Electric Vehicle. 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. URL:ppniv14.irccyn.ec-nantes.fr/PPNIV14_Introduction.pdf.
7. Datta A.K., Dubey M., Jain S. Modelling and simulation of static excitation system in synchronous machine operation and investigation of shaft voltage. Hindawi Publishing Corporation Advances in Electrical Engineering, 2014, vol. 2014, 9 p.
8. Gabrielyan D.D., Engibaryan I.A., Safaryan O.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1190.
9. Zeljko S., Vedrana M., Vedrana K., Vedrana J. Synchronous generator modeling using Matlab. Department of Electromechanical Engineering, Faculty of Electrical Engineering, University of Osijek, Croatia, 9 p.
10. LaMeres Brock J. Design and implementation of a fuzzy logic-based voltage controller for voltage regulation of a synchronous generator. Montana State University, 9 p.
11. Solovev V.V., Shadrina V.V. Modelirovanie nechetkih sistem upravljenija. [Simulation of fuzzy control systems.] Taganrog: Izd-vo TTI JuFU, 2010, 125 p.
12. Kobersy I.S. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2759.