

Способы назначения и оптимизации режимов технического обслуживания автомобилей Techniques of assignment and optimization of modes of maintenance vehicles

П.В. Иванис, А.С. Сай. (P.V.Ivanis, A.S.Sai)

Белорусский национальный технический университет

Аннотация. В статье рассмотрены способы назначения режимов проведения технического обслуживания (регламентный, календарный, комбинированный). Проанализированы возможные стратегии (плановая, смешанная, «по состоянию») организации выполнения работ по техническому обслуживанию (ТО) автомобилей. Описаны методы определения оптимальной периодичности проведения работ по ТО (простейшие, имитационные, аналитические). Рассмотрено математическое описание методов определения оптимальной периодичности по критерию безотказности и по экономическим соображениям. Приведено математическое описание этих методов.

The summary. The article describes how to appointment modes of maintenance (regulation, calendar, combined). The paper analyzes the possible strategies (planned, mixed, «according to the actual state») of the management of the maintenance vehicles. The article describes the methods of determining the optimal frequency of maintenance (simple, simulation, analysis). The paper considers the mathematical description of the methods for determining the optimal frequency by reliability and economic reasons. This paper contains a mathematical description of these methods.

Введение. Структура и режим системы технического

обслуживания автомобилей описывается набором нормативов – количественных или качественных показателей, которые служат для упорядочивания процесса принятия решения. Структура системы технического обслуживания определяется количеством ступеней технического воздействия, а режим включает в себя перечни выполняемых работ, назначение сроков проведения технического обслуживания (или периодичности проведения, если эти сроки считать постоянными) и трудоемкость их выполнения. Обоснование перечня работ для каждой ступени технического обслуживания, периодичность и трудоемкость их выполнения является процессом проектирования нормативов технического обслуживания.

Основная часть. Проектирование оптимальных режимов технического обслуживания является составной частью проблемы надежности и для своего решения требует применения статистических показателей и теоретико-вероятностных средств исследования [5].

Существует три способа назначения режимов проведения технического обслуживания: **регламентный, календарный, комбинированный**. При регламентном способе техническое обслуживание проводится до достижения транспортным средством определенной наработки. Ка-

календарный принцип подразумевает под собой выполнение технического обслуживания для предупреждения отказов, вызванных явлениями старения, по календарным срокам. Комбинированный принцип объединяет в себе как наработку, так и календарные сроки и применим к системам, в которых одновременно происходят процессы изнашивания и старения.

Стратегии проведения обслуживания применительно к сфере технической эксплуатации автомобилей можно разделить на следующие виды [5]:

- плановая – проводится только плановое обслуживание независимо от появления отказов; если до наступления момента проведения обслуживания произойдет отказ, то транспортное средство ремонтируется и продолжает работать до очередного технического обслуживания;
- смешанная I – стратегия, когда кроме планового обслуживания после каждого случая отказа проводится внеплановое обслуживание;
- смешанная II – проводится как плановое, так и внеплановое техническое обслуживание, причем отсчет времени до наступления следующего обслуживания ведется с момента выполнения внепланового технического обслуживания;
- обслуживание «по состоянию».

В теории надежности существует общепринятое деление отказов на внезапные и постепенные [3]. Внезапные отказы невозможно заранее предвидеть у конкретного автомобиля, поэтому они являются непрофилактируемыми. К непрофилактиваемым отказам также могут быть отнесены отказы, предотвращение которых нецелесообразно с экономической точки зрения. По данным [4], таких отказов в современных автомобилях 27–39% от общего числа. Такие отказы устраняются по мере потребности, т.е. «по состоянию». Обслуживание «по состоянию» проще реализовывать, однако такая стратегия имеет ряд недостатков. Прогнозировать поступление транспортного средства на обслуживание заранее невозможно, что создает определенные трудности при организации работы производственных зон и участков. Поэтому в сфере технической эксплуатации автомобильного транспорта наиболее широко применяется плановая стратегия проведения технического обслуживания, основная цель которой – предупреждение значительной доли отказов и неисправностей, восстановление близкого к исходному состоянию транспортного средства до того, как будет достигнуто предельное состояние.

Важную роль в вопросе назначения режимов технического обслуживания и экономических показателей работы предприятия играет содержание (объем и глубина) работ технического обслуживания.

При определении оптимальной периодичности выполнения технического обслуживания могут применяться индивидуальный или групповой подход. Индивидуальный подход используется при определении периодичности обслуживания наиболее ответственных узлов и механизмов транспортного средства.

Методы определения оптимальной периодичности технического обслуживания могут быть разделены на следующие группы:

- простейшие;

- имитационные;
- аналитические.

Простейшими методами является метод аналогий и метод назначения периодичности по изменению внешнего вида механизма, материала, соединения. Эти методы могут быть использованы для назначения режимов при отсутствии эмпирической информации об эксплуатации транспортного средства, что особенно актуально для эксплуатации в новых условиях (изменение природно-климатических условий, категории условий эксплуатации). Применение этих методов основывается на применении различных эвристических правил, конечный результат является приближенным и очень сильно зависит от квалификации и опыта специалиста, определяющего оптимальный режим.

Метод аналогий заключается в назначении оптимальных режимов технического обслуживания с использованием информации об эксплуатации транспортных средств с аналогичной конструкцией. Установленное первоначально значение обычно уточняется в процессе эксплуатации транспортного средства. С учетом того, что конструкции и процессы эксплуатации транспортных средств, для которых режимы назначаются методом аналогий, имеют определенную схожесть, то для назначения режимов может быть использована теория подобия. Согласно этой теории, явления, подобные в том или ином смысле, имеют некоторые одинаковые сочетания параметров, называемых критериями подобия [1]. Для автомобильного транспорта такими критериями могут быть, например, технологическая совместимость узлов и агрегатов, схожесть условий эксплуатации и т.д. На основании опыта эксплуатации схожего по конструкции транспортного средства в заданных условиях могут быть установлены режимы обслуживания для исследуемого транспортного средства.

Метод определения оптимальной периодичности выполнения работ технического обслуживания по изменению внешнего вида механизма, узла, соединения может быть применен к тем элементам транспортного средства, внешний вид которых позволяет определить техническое состояние. Признаки необходимости выполнения работ могут быть определены органолептическим способом по качественным признакам технического состояния (к примеру, подтекание охлаждающей жидкости или масла, цвет и запах выхлопных газов и др.). Метод удобно применять при назначении оптимальных режимов выполнения работ по замене технических жидкостей и выполнению крепежных работ.

Простейшие методы являются наименее формализованными. В большой степени эффективность результатов зависит от квалификации исследователя.

Имитационные методы более сложные в реализации и требуют значительного объема статистической информации, которая собирается в процессе технической эксплуатации. Достоинствами имитационных методов являются широкие возможности применения математического аппарата в процессе обработки статистических данных, возможность учитывать значительное количество внешних факторов, воздействующих на объект исследования. Так же этот способ является наиболее пригодным для представления процесса обработки данных в виде алгоритмов с последующей реализацией программного обеспечения

для компьютеров.

Аналитические методы базируются на основных закономерностях технической эксплуатации автомобилей [4]. В этой группе методов определения оптимальной периодичности проведения технического обслуживания могут быть отнесены: метод определения периодичности проведения ТО по допустимому уровню безотказности; экономический метод; экономико-вероятностный метод; метод определения оптимальной периодичности ТО по допустимому значению и закономерности изменения параметра технического состояния.

При определении оптимальной периодичности проведения технического обслуживания по критерию безотказности, обслуживание целесообразно организовать так, чтобы значения критериев, характеризующих эффективность обслуживания, находились в определенных границах, то есть требуется знать зависимость этих критериев от сроков проведения работ технического обслуживания.

Одним из наиболее важных критериев, характеризующих безотказность, является параметр потока отказов $\Upsilon(t)$ – отношение математического ожидания числа отказов восстанавливаемого объекта за достаточно малую его наработку к значению этой наработки [2].

Как было отмечено ранее, в теории надежности рассматриваются два типа отказов: постепенные и внезапные. Обозначим интенсивность постепенных отказов как $\mathcal{E}(t)$, а внезапных – $\lambda(t)$. Следует учесть так же возможность появления внезапных отказов в послепрофилактическом периоде с интенсивностью $\lambda_{\text{п.п.}}(t)$. Автомобиль как система может находиться в трех возможных состояниях:

- S_0 – состояние работоспособности;
- S_1 – предотказное состояние;
- S_2 – отказ.

Вероятность отказа $\Lambda(t)$ в определенный момент времени t до проведения технического обслуживания (профилактики) t_n может быть определена по формуле:

$$\Lambda(t) = \frac{P'(t)}{P(t)}, \quad 0 \leq t < t_i, \quad (1)$$

$P'(t)$ – дифференциальная функция вероятности пребывания системы в работоспособном состоянии;

$P(t)$ – функция вероятности пребывания системы в работоспособном состоянии.

Среднее значение вероятности отказа $\Lambda_{\text{ср}}(t)$ определяется с помощью формулы:

$$\Lambda_{\text{ср}}(t) = \frac{1}{t_i} \int_0^{t_i} \Lambda(t) dt = - \frac{\ln P(t)}{t_i}. \quad (2)$$

Выполнив над операцией дифференцирования по t_i и приравняв производную нулю, получим трансцендентное уравнение для определения $t_{i,\text{опт}}$ [5]:

$$\Lambda(t_{i,\text{опт}}) - \Lambda_{\text{ср}}(t_{i,\text{опт}}) = 0, \quad t_{i,\text{опт}} \neq \infty. \quad (3)$$

Из этого можно сделать вывод о том, что оптимальным временем проведения технического обслуживания является время, когда среднее значение интенсивности отказов равно его мгновенному значению. На практике приближенное значение $t_{i,\text{опт}}$ может быть определено графическим методом в точке пересечения графиков $\Lambda(t)$ и $\Lambda_{\text{ср}}(t)$. При этом существует условие существования оптимального времени

проведения технического обслуживания, которое может быть выражено условием:

$$\Lambda_{\text{ср}}(t) < \lim_{t \rightarrow \infty} \Lambda(t), \quad (4)$$

$\lim_{t \rightarrow \infty} \Lambda(t)$ – стационарное значение полной интенсивности отказов.

Выполнение работ по техническому обслуживанию транспортных средств с одной стороны повышает их надежность, с другой стороны требует затрат труда на выполнение операций и простоя транспортных средств. Оптимизация режимов технического обслуживания может вестись также исходя из экономических соображений.

Предположим, что при проектировании режимов технического обслуживания имеется возможность распоряжаться определенным набором параметров, характеризующих процесс технического обслуживания (количество операций, трудоемкость их выполнения, разряд и квалификация рабочих и т.п.). Вектор этих параметров обозначим через a , а область его допустимых значений – через A . В качестве целевой функции $C(a)$ в этом случае будет выступать стоимость процесса. Тогда может быть записано следующее утверждение:

$$C(a) \rightarrow \min_a; \quad P(a) \geq P_0; \quad a \in A, \quad (6)$$

где P_0 – минимально допустимое нормативное значение показателя надежности [6].

Вместе с критерием минимальной стоимости может применяться также двойственный ему критерий максимальной надежности:

$$P(a) \rightarrow \max_a; \quad C(a) \leq C_0; \quad a \in A, \quad (7)$$

где C_0 – максимально допустимое значение стоимости работ по техническому обслуживанию.

Вместо стоимости $C(a)$ можно также минимизировать математическое ожидание от суммы расходов на техническое обслуживание транспортного средства, включая также экономические потери от отказов. В простейшем случае задача может быть сведена к оптимизационной задаче:

$$C_0(a) + [1 - P(a)] \cdot C_1(a) \rightarrow \min_a; \quad P(a) \geq P_0; \quad a \in A,$$

где $C_1(a)$ – сумма потерь, связанных с отказами;

$L(a) = [1 - P(a)] \cdot C_1(a)$ – математическое ожидание этих потерь (рисунок 1).

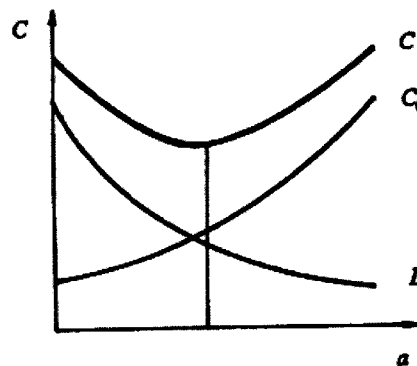


Рис. 1. Оптимизация надежности системы по экономическому критерию

Усовершенствование модели позволяет различать от-

казы по степени экономических потерь от их возникновения :

$$C_0(a) + \sum_a Q_a(a, t) \cdot L_a(a) \rightarrow \min; P(a, \tau) \geq P_0(\tau); a \in A; \tau \in [0, T_0],$$

где Q_a – вероятность наступления отказа;

L_a – экономические потери в случае возникновения отказа.

Для практического использования аналитических методов требуется значительный объем статистической информации об эксплуатации объекта исследования. Наибольший интерес среди этой информации представляют данные об отказах и неисправностях узлов и агрегатов автомобиля, наработки на отказ, трудоемкости и финансовые затраты на устранение последствий неисправностей. Для получения этой информации требуется проведение сложных, длительных и трудоемких экспериментальных наблюдений. В реальной практике эксплуатации транспортных средств это затруднительно.

Заключение. В процессе эксплуатации транспортных средств одним из основных является вопрос о том, как часто, какие и в каком объеме необходимо проводить мероприятия по обслуживанию транспортного средства, чтобы обеспечить его надежную работу. Уменьшение интенсивности отказов узлов и агрегатов после выполнения определенного перечня работ по техническому обслуживанию (регламентных работ, осмотров и др.) определяется самими производимыми работами.

С теорией надежности неразрывно связано направление фундаментальных исследований – теория оптимизации. Целью проектирования нормативов является создание оптимальных режимов. Оптимизация режимов проведения технического обслуживания может вестись по различным критериям, например, по критерию безотказности, экономическому методу и др. Существенным преимуществом критерия оптимизации, основанного на соображениях надежности и безотказности, состоит в том, что многочисленные и разнообразные ограничения типа условий прочности, жесткости и др. заменяются единым ограничением на показатель надежности P .

Эксплуатация автобусов на городских и пригородных регулярных маршрутах обладает особенностью, заключающейся в том, что эксплуатация этих транспортных средств происходит преимущественно в одних и тех же условиях. Влияние на изменение технического состояния автобуса в процессе эксплуатации на различных маршрутах в большей степени оказывают характеристики самих маршрутов (протяженность, количество остановочных пунктов, пассажиропоток и др.), дорожная обстановка (тип, состояние и конфигурация дороги, интенсивность движения и др.), уровень подготовки водителя. Поэтому для определения оптимальных периодичностей работ по техническому обслуживанию автобусов может быть предложена методика, основанная на корреляционно-регрессионном анализе приведенных выше факторов.

Список литературы

Веников В.А. Теория подобия и моделирования. Учеб. пособие для вузов. Изд. 2-е, доп. и перераб. М.: Высшая школа, 1976, 479 с. с ил.

ГОСТ 27.002-89

Дедков В.А., Северенцев Н.А. Основные вопросы эксплуатации сложных систем. Учеб. пособие для вузов. М.: Высш. школа, 1976, 406 с. с ил.

Кузнецов Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей. – М.: Транспорт, 1990. – 272 с.

Маньшин Г. Г. Управление режимами профилактики сложных систем. Мн., «Наука и техника», 1976, 256 с.