

УДК 621.113

Г.В. Борисов, Л.Н. Ерофеева

**УТОЧНЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МЕТОДА  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ  
ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

В настоящее время существует много методов определения оптимальной периодичности технического обслуживания автомобилей. Техничко-экономический метод является наиболее простым и универсальным методом определения оптимальной периодичности технического обслуживания автомобилей, но не учитывает ряд особенностей технической эксплуатации автомобилей в реальных условиях (например, простои на маршруте из-за возникновения отказов), требует наличия достоверной информации о ресурсе автомобилей и не учитывает определенный уровень безотказности, что ограничивает его использование на практике. По этой причине необходимо уточнение и корректировка метода для устранения вышеописанных недостатков и повышения практической ценности использования технико-экономического метода в автомобильном транспорте. В работе также представлено обоснование выбора графического вида зависимости средней наработки на отказ от периодичности технического обслуживания автомобилей и математическое выражение указанной зависимости. Данные материалы могут быть полезными для специалистов занимающихся эксплуатацией автомобильного транспорта, а так же для преподавателей и студентов вузов соответствующего профиля.

*Ключевые слова:* техническая эксплуатация автомобилей, отказ, периодичность технического обслуживания, безотказность, долговечность, надежность.

В настоящее время существует много методов определения оптимальной периодичности ТО автомобилей. Одним из наиболее распространенных является технико-экономический метод. Этот метод сводится к определению суммарных удельных затрат на ТО и ремонт и их минимизации [1]. Минимальным затратам соответствует оптимальная периодичность ТО  $l_{\text{опт}}$ . Выражение

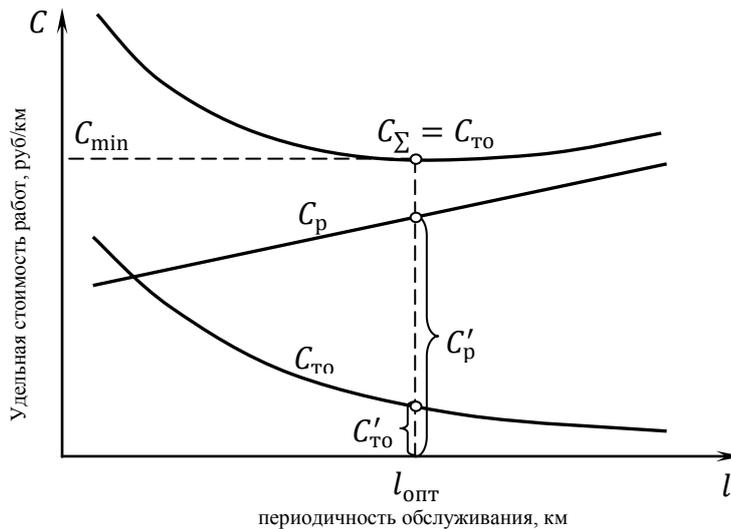
$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n C_i = C_{\text{ТО}} + C_{\text{р}} \rightarrow \min \quad (1)$$

является целевой функцией, экстремальное значение которой соответствует оптимальному решению. В данном случае оптимальное решение соответствует минимуму удельных затрат. Определение минимума целевой функции и оптимального значения периодичности ТО проводится графически (рис. 1) или аналитически в том случае, если известны зависимости  $C_{\text{ТО}} = \frac{d}{l} = f(l)$  и  $C_{\text{р}} = \frac{c}{L} = \varphi(l)$ , где  $l$  - периодичность ТО,  $d, c$  - стоимость операций ТО и ремонта соответственно,  $L$  - ресурс автомобиля.

Преимуществами технико-экономического метода являются простота и универсальность, а недостатки его заключаются в следующем [1]: метод применим только для работающих «внутри предприятия» автомобилей, т.к. не учитывается простой автомобиля на линии из-за неисправности и необходимости его транспортирования на предприятие для проведения ТР; необходимости в наличии достоверной информации о значении ресурса автомобиля  $L$ ; отсутствии гарантии определённого уровня безотказности.

Разберём вышеописанные недостатки метода.

Неисправности автомобилей на линии, приводящие к вынужденному простоям, вызваны отказами, чаще всего ресурсными [2, 3], требующими ремонтных технических воздействий в необходимых для этого условиях и квалифицированным персоналом. Соответственно, после возникновения ресурсного отказа автомобиля или любого его конструкционного элемента (КЭ), необходимо снарядить автомобиль технической помощи и отбуксировать неисправный автомобиль на ремонтную базу.



**Рис. 1. Определение оптимальной периодичности ТО технико-экономическим методом**

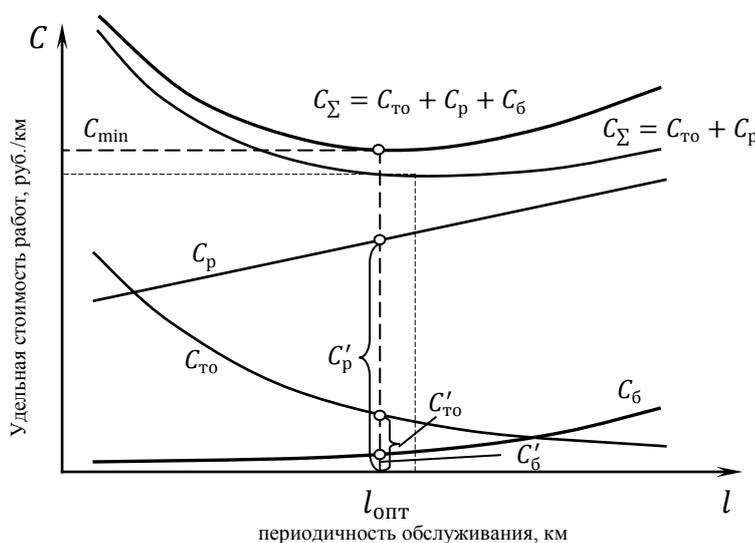
Очевидно, что частота возникновения отказа, требующего буксировки к месту ремонта, оценивается средней наработкой автомобиля или его КЭ до отказа  $\bar{x}$ , а количество буксировок  $N_б$  за планируемый период или пробег  $l$  можно определить по выражению:

$$N_б = \frac{l}{\bar{x}}. \tag{2}$$

Таким образом, зная затраты на буксировку собственным автомобилем тех.помощи (или тарифную ставку при использовании наемного)  $c_б$ , можно рассчитать удельные затраты на буксировку неисправного автомобиля:

$$C_б = \frac{N_б \cdot c_б}{l} = \frac{l \cdot c_б}{\bar{x} \cdot l} = \frac{c_б}{\bar{x}}. \tag{3}$$

Очевидно, что наработка до отказа  $\bar{x}$  зависит от периодичности технического обслуживания, т.е.  $\bar{x} = \bar{x}(l)$  и, при  $l \rightarrow 0 \bar{x} \rightarrow \infty$ , а при  $l \rightarrow \infty \bar{x} \rightarrow 0$  или к какому-либо конечному значению, характеризующему «прочность» системы до отказа. Таким образом, наработка до отказа  $\bar{x}$  будет неизбежно уменьшаться при увеличении периодичности обслуживания  $l$ , а удельные затраты на буксировку автомобиля  $C_б$  до места ремонта - монотонно увеличиваться, что приведет к уменьшению оптимальной периодичности ТО. Принципиальный вид кривой  $C_б$  показан на рис. 2.



**Рис. 2. Изменение оптимальной периодичности ТО при учете удельных затрат на буксировку**

Удельные затраты на буксировку  $C_6$  можно и не учитывать отдельно, а суммировать к удельным затратам на ремонт  $C_p$ , тогда:

$$C_p = \frac{c}{L} + \frac{c_6}{\bar{x}(l)}. \quad (4)$$

Таким образом, чтобы учесть дополнительные затраты при определении оптимальной периодичности ТО, в частности расходы на буксировку отказавших на линии АТС, необходимо изучить зависимость  $\bar{x}(l)$  и получить математическое выражение данной зависимости.

Для изучения данной зависимости нужно ввести точку отсчета, с которой можно начать исследование. Такую точку можно задать параметрами (уровнем) безотказности, например нормативными или гарантийными.

Согласно действующего «Положения от технического обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта» (далее Положение), текущий ремонт (далее ТР) предназначен для обеспечения работоспособного состояния подвижного состава с восстановлением или заменой отдельных его агрегатов, узлов и деталей (кроме базовых), достигших предельно допустимого состояния (п. 2.18 Положения). При этом ТР должен обеспечивать безотказную работу отремонтированных агрегатов, узлов и деталей на пробеге не меньшем, чем до очередного ТО-2 (п. 2.18.1 Положения). Таким образом, отказы должны возникать не раньше, чем наступит время для проведения ТО-2, и сам отказ будет предупреждён операциями ТО-2 или устранён сопутствующим при ТО-2 ремонтом, т.е. не возникнет. Это и определяет заданный нормативный уровень безотказности.

Гарантийный уровень безотказности определяется производителем автотранспортной техники гарантирующим определенный ресурс или срок службы техники при соблюдении владельцем графика работ по ТО.

Попробуем графически определить принципиальную зависимость  $\bar{x}(l)$  на примере автобусов. Согласно Положения периодичность ТО-2 автобусов составляет 14000 км [4], обозначим периодичность ТО-2 автобусов через  $a = 14000$  км. Тогда наработка на отказ должна быть не меньше такой периодичности, обозначим наработку на отказ при установленной периодичности ТО-2 через  $b \geq 14000$  км. Обозначим точку пересечения  $a$  и  $b$  через  $O$  и определим поведение изучаемой зависимости в области точки  $O$  (рис. 3, а).

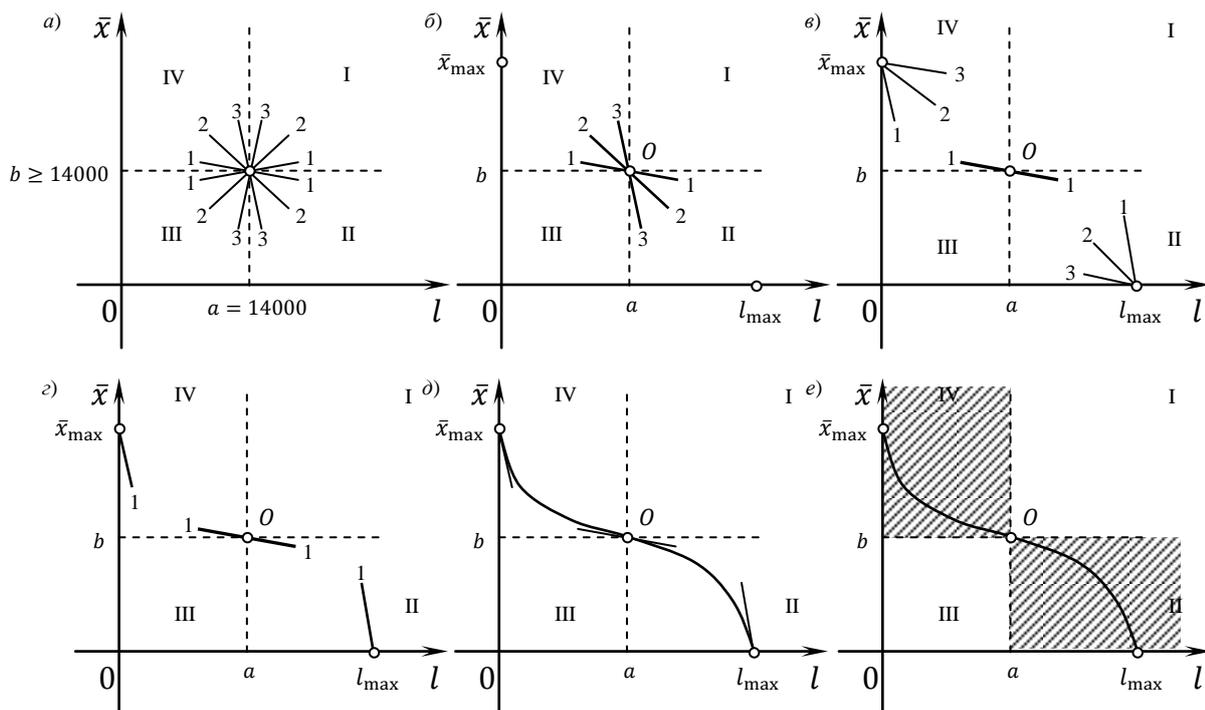


Рис. 3. Построение принципиального вида закономерности изменения зависимости  $\bar{x}(l)$

Варианты поведения изучаемой зависимости показаны на рис. 3, а, где область вокруг точки  $O$  условно разделена на четыре квадранта (I, II, III, IV). Линии 1, 2, 3 предполагают плавное возрастание-уменьшение (линия 1, рис. 3, а), пропорциональное (линейное) изменение (линия 2 рис. 3, а) и резкое возрастание и уменьшение (линия 3, рис. 3, а) изучаемой зависимости. Очевидно, что при увеличении периодичности обслуживания средняя наработка до отказа будет уменьшаться, т.е. больше отказов в количественном выражении возникнет в увеличенном интервале периодичности. Аналогично, с уменьшением периодичности обслуживания средняя наработка до отказа будет увеличиваться, т.е. большее количество отказов будет предупреждаться или устраняться при проведении обслуживания и самих отказов возникнет меньше. Таким образом, изучаемая зависимость располагается во II и IV квадрантах относительно точки  $O$  (рис. 3, б), при этом, отрицательные значения  $\bar{x}$  и  $l$  рассматривать не имеет смысла. Кроме того, не вызывает сомнений тот факт, что при «плавном» изменении (увеличении или уменьшении) периодичности обслуживания от точки  $a$ , не может произойти каких-либо резких изменений изучаемой зависимости, поскольку для такого резкого отклонения нет предпосылок. Итак, при увеличении периодичности обслуживания изучаемая зависимость плавно уменьшается, а при уменьшении периодичности обслуживания - плавно увеличивается, поэтому линия 1 более точно и достовернее отражает поведение изучаемой зависимости в области точки  $O$  (линия 1, рис. 3, в).

Кроме точки отсчета (точка  $O$ ), нужно установить границы изучаемой зависимости. Итак, как было указано ранее, при  $l \rightarrow 0$ ,  $\bar{x} \rightarrow \infty$ , а при  $l \rightarrow \infty$ ,  $\bar{x} \rightarrow 0$  или к какому-либо конечному значению, характеризующему «прочность» системы до отказа. Очевидно, что диапазоны изменения  $\bar{x}$  и  $l$  от 0 до  $\infty$  излишне велики, поэтому, чтобы их ограничить, подробнее рассмотрим границы диапазона.

Значение  $l = 0$  км, т.е. «постоянное» обслуживание, на практике может означать непрерывный контроль за техническим состоянием автомобиля или его КЭ (например, с использованием систем датчиков или максимально частым возможным исполнением контрольной части операции ТО) с отложенным на наименьший возможный срок обслуживанием или исполнительской его части (например, совмещённой с ежедневным обслуживанием ЕО). Очевидно, что даже «постоянное» обслуживание не исключит возможность отказа, (принимая во внимание естественные процессы ухудшения технического состояния (ТС) автомобиля или его КЭ). Другими словами, первое граничное условие (при  $l \rightarrow 0$ ,  $\bar{x} \rightarrow \infty$ ) означает, что при установленном режиме ТО и постоянном контроле за состоянием автомобиля или его КЭ наработки до отказа будут максимальными и сравнимы, например, с гарантийными пробегами, т.е. будет обеспечен его ресурс на уровне гарантированного (например, заводом-изготовителем), и это условие примет вид: при  $l \rightarrow 0$ ,  $\bar{x} \rightarrow \bar{x}_{\max} (L_r)$  (рис. 3, б, точка  $\bar{x}_{\max}$ ).

Значение  $\bar{x} = 0$  км, т.е. «бессмысленное» обслуживание, на практике может означать, что установленная периодичность обслуживания не предупреждает ни одного отказа, и каждый выезд на линию будет сопровождаться максимальным риском отказа. Другими словами, при установленной периодичности самого обслуживания можно и не производить, и это не окажет на поток отказов практически никакого влияния. Точное значение периодичности обслуживания при  $\bar{x} = 0$ , характеризует некий «запас прочности» системы (автомобиля или его КЭ), т.е. как долго может «протянуть» система без предупреждающих технических воздействий и это условие примет вид: при  $l \rightarrow l_{\max}$ ,  $\bar{x} \rightarrow 0$  (рис. 3, б, точка  $l_{\max}$ ).

Варианты поведения изучаемой зависимости в области граничных точек  $\bar{x}_{\max}$  и  $l_{\max}$  показаны на рис. 3, в (линии 1, 2, 3), при этом линия 1 предполагает резкое возрастание-уменьшение, линия 2 - пропорциональное (линейное) изменение, линия 3 - плавное возрастание-уменьшение.

тание-уменьшение изучаемой зависимости. Основываясь на том факте, что при увеличении периодичности обслуживания (величины наработки до обслуживания), значения параметров, влияющих на возникновение отказов, близки или достигают предельно допустимых значений, можно утверждать, что излишнее увеличение периодичности обслуживания приводит к резкому приросту количества отказов (этот факт подтверждается, например, диаграммой изнашивания сопряженных пар [5]), т.е. большое приращение периодичности приводит к еще большему приросту отказов, соответственно, наработка на отказ резко снижается. Логично предположить, что «прирост» безотказности при снижении периодичности обслуживания ведёт себя схожим образом, т.е. большое снижение периодичности обслуживания приводит к резкому «приросту» безотказности. Данные утверждения более точно и достовернее описываются линией 1 в области граничных точек  $\bar{x}_{\max}$  и  $l_{\max}$  (рис. 3, з).

Соединяя (аппроксимируя) полученные линии изменения (линии 1, рис. 3, з), получаем искомый графический вид изучаемой зависимости  $\bar{x}(l)$  (рис. 3, е), который имеет пока принципиальный характер.

Подобный характер закономерности изменения может быть описан (аппроксимирован) с использованием экспоненциальной функции вида:

$$\bar{x} = \begin{cases} (b - 1) + k \cdot e^{n(l-a)}, & 0 < l < a \\ (b + 1) - k \cdot e^{n(l-a)}, & l \geq a \end{cases} \quad (5)$$

Показатель степени  $n$  в выражении (5) определяет степень прироста (снижения) безотказности автомобиля и может быть characterized таким показателем как интенсивность отказов  $\lambda(x)$ , определяемая как отношение плотности вероятности отказов  $f(x)$  к вероятности безотказной работы  $R(x)$ . Коэффициент  $k$  в выражении (5) может быть characterized коэффициентом полноты восстановления ресурса  $\eta$ , а также корректирующими коэффициентами нормативов ТЭА:  $k_1, k_3$ .

Теперь перейдем от зависимости  $\bar{x}(l)$  к ключевой, для определения удельных затрат на ремонт, зависимости  $C_B(l)$ , математическое выражение которой описывается формулой (3). Как видно, она представляет собой обратное выражение от зависимости  $\bar{x}(l)$ , т.е (рис. 4).

$$C_B = \begin{cases} \frac{c_6}{(b-1)+k \cdot e^{-n(l-a)}}, & 0 < l < a \\ \frac{c_6}{(b+1)-\frac{k}{e^{n(l-a)}}}, & l \geq a \end{cases} \quad (6)$$

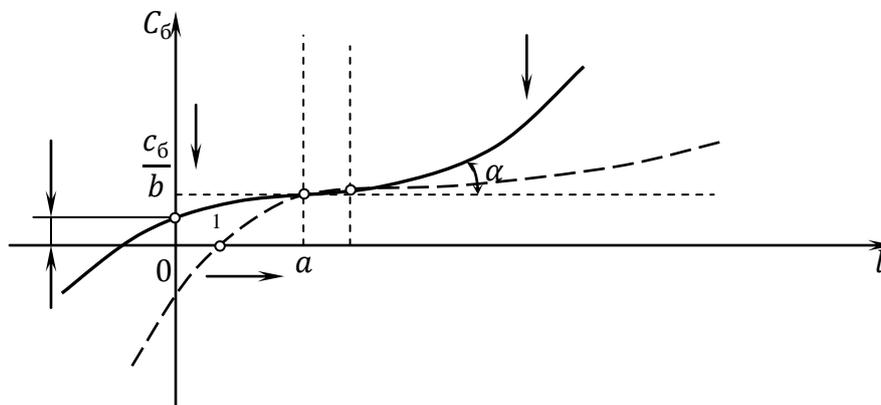


Рис. 4. Принципиальный вид зависимости  $C_B(l)$ :

— — — — — - обратное выражение функции  $\bar{x}(l)$ ;  
 - - - - - - предпочтительный, с точки зрения технической эксплуатации, вид функции

На основании изложенного, можно сделать следующие выводы. Задача определения зависимости  $\bar{x}(l)$  может быть решена разными способами. При этом параметры безотказности  $a$  и  $b$  при установленном (нормативном, гарантийном) режиме ТО и Р будем считать заданными.

Если задан (изготовителем) гарантийный пробег, т.е.  $\bar{x} = L_{\text{гар}}$ , то при заданных параметрах безотказности можно определить  $n$  с помощью логарифмирования выражения (5). Следует отметить, что данный способ определения закономерностей  $\bar{x}(l)$  и  $C_B(l)$  можно применить только для определения оптимальной периодичности ТО новых автомобилей.

Второй способ относится к определению закономерностей  $\bar{x}(l)$  и  $C_B(l)$  для уже эксплуатирующихся автомобилей. Имея статистические данные об отказах, необходимость устранения которых требует буксировки, определить  $\bar{x}$  не составляет сложности:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (7)$$

где  $x_i$  - текущее значение наработки до отказа;  $n$  - количество измерений наработок (общее число изделий).

Дифференцируя выражение (7) при  $n = \text{const}$ , получим плотность вероятности отказа:

$$f(x) = \frac{1}{n} \frac{dm}{dx}, \quad (8)$$

где  $\frac{dm}{dx}$  - количество отказов в единицу времени, т.е. элементарная «скорость», с которой в любой момент времени происходит приращение числа отказов при работе КЭ без замены,  $m$  - число отказавших изделий.

Дифференциальная функция распределения  $f(x)$  называется также законом распределения случайно величины. Знание законов распределения случайных величин позволяет планировать моменты проведения и трудоёмкость работ ТО и Р, определять необходимое количество запасных частей и решать другие технологические и организационные вопросы в области технической эксплуатации автомобилей (ТЭА).

Соответствующие разработки позволяют более точно прогнозировать оптимальную периодичность обслуживания автомобилей или любого его конструкционного элемента. Данные работы по уточнению технико-экономического метода определения оптимальной периодичности и прогнозированию ресурса автомобилей ведутся на кафедре «Автомобильный транспорт» НГТУ им. Р.Е. Алексеева.

#### Библиографический список

1. **Кузьмин, Н.А.** Техническая эксплуатация автомобилей: нормирование и управление: учеб. пособие / Н.А. Кузьмин. – М.: ФОРУМ, 2011. – 224 с.
2. **Корчажкин, М.Г.** Совершенствование нормативов технической эксплуатации городских автобусов / М.Г. Корчажкин, Н.А. Кузьмин, А.Д. Кустиков. – Н. Новгород: Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. №4. С. 168–174.
3. **Кузьмин, Н.А.** Проблемы надежности трансмиссий городских автобусов / Н.А.Кузьмин, А.Д. Кустиков– М.: Автотранспортное предприятие. 2013. №8. С. 39-42.
4. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта / Минавтотранс РСФСР. – М.: Транспорт, 1988. – 78 с.
5. **Кузьмин, Н.А.** Техническая эксплуатация автомобилей: закономерности изменения работоспособности: учеб. пособие / Н.А. Кузьмин. – М.: ФОРУМ, 2011. – 208 с.

Дата поступления  
в редакцию 01.10.2013

---

G.V. Borisov, L.N. Erofeeva

**UPDATE OF TECHNICAL AND ECONOMIC METHOD OF DETERMINATION  
OF AUTOMOBILE TECHNICAL INFLUENCES OPTIMAL PERIODICITY**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** At present there are many methods to determine the optimal frequency of maintenance vehicles. Technical and economic method is the most simple and universal method of determination of automobile technical influences optimal periodicity but doesn't take into account a number of features of automobile technical operation in real conditions (for example, downtime on route due to failure emergence), requires true information about automobile life-time and doesn't take into account specified level of non-failure operation, that limits the method usage in practice. That's why it's necessary to update and correct this method for elimination of lacks listed above and for increase of practical usage value of technical and economic method in automobile sphere.

**Design/methodology/approach:** Based on the natural physical and mechanical processes that occur in structural elements of the vehicle to plot the change in the mean time to failure of the frequency of maintenance vehicles

**Findings:** The paper presents the rationale selection of graphic types depending mean time to failures on the frequency of vehicle maintenance and mathematical expression of this dependence.

**Research limitations/implication:** The work presents a qualitative dependence of mean time to failure of the maintenance intervals, described by an exponential function. Also audited the compliance of the parabolic function, work is underway to verify the compliance of other mathematical functions depending on the study.

**Originality/value:** These materials may be useful for specialists dealing with the operation of motor transport, and as for teachers and students of corresponding profile.

*Key words:* technical operation of cars, failure, periodicity of technical influences, non-failure operation, durability, reliability.