

ОБ ОПТИМАЛЬНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ МАШИН

Гоц А.Н.

ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ), Владимир, Россия (600000, г. Владимир, ул. Горького, 87), hotz@mail.ru

Предложены комплексные показатели для определения оптимальной долговечности машин (автомобилей, автобусов или тракторов), имеющих какую-то наработку в условиях эксплуатации, а также при неизвестных условиях нагружения. Для таких машин прогнозирование долговечности возможно только по результатам статистического анализа их эксплуатации в данном регионе. Вместо того чтобы минимизировать целевую функцию, как это обычно делается в математических моделях долговечности, в которых учитываются расходы и доходы на некоторый временной промежуток (год или километры пробега), предлагается учитывать расходы и доходы, приходящиеся на один километр пробега. Это позволяет из экономических соображений (соотношения доходов и расходов) выбрать оптимальный период эксплуатации машин. По результатам наблюдений за рядом машин можно, как это делается при статистической обработке результатов наблюдений, определить среднее значение долговечности \bar{T} и доверительные интервалы.

Ключевые слова: показатели надежности; долговечность; автомобили; автобусы; ресурс; доходы; расходы; километр пробега; оптимальные параметры.

ABOUT OPTIMUM DURABILITY OF MACHINES

Gots A.N.

Vladimir state university of a name of Alexander Grigorjevicha and Nikolay Grigorjevicha Stoletovyh(VISU), Vladimir, Russia (600000, Vladimir, street Gorkogo, 87), hotz@mail.ru

The author suggests complex parameters for definition of optimum durability of machines (automobiles, buses or tractors), having any operating time under operating conditions, which character are offered, and also under unknown conditions loading. For such machines forecasting of durability is possible only by results of the statistical analysis of their operation in the given region. Instead of minimizing criterion function, as it is usually done in mathematical models of durability, in which charges and incomes on some time interval are taken into account (year or kilometers of run), is offered to take into account charges and the incomes, falling one kilometer of run. It allows from economic reasons (parities of incomes and charges) to choose the optimum period of operation of machines. By results of supervision over a number of machines it is possible as it is done at statistical processing results of supervision to determine average value of durability and confidential intervals.

Key words: parameters of reliability; durability; automobiles; buses; a resource; incomes; charges; kilometer of run; optimum parameters.

Показатели долговечности элементов автомобилей и внедорожной техники определяют потребность в техническом обслуживании, ремонтах, запасных частях и горюче-смазочных материалах. Обеспечение долговечности машин в эксплуатации связано с большими материальными, трудовыми и энергетическими затратами. С другой стороны, при низкой эффективности мероприятий по поддержанию работоспособности машин резко снижаются их производительность и эффективность использования. В связи с этим возникает задача определения оптимального срока использования машин. Это особенно характерно для автомобилей, автобусов и внедорожной техники, которые эксплуатируются после некоторого использования или после капитального ремонта. В настоящее время в России и странах СНГ широко используются зарубежные автобусы с большим пробегом для

осуществления пассажирских перевозок, для которых прогнозировать долговечность можно только по данным статистического анализа их работы в данном регионе.

В соответствии с определениями, приведенными в литературе по теории надежности [1; 2], долговечность – «свойство объекта сохранять работоспособность до перехода в предельное состояние с возможными перерывами для технического обслуживания и ремонта», а срок службы – «календарная продолжительность эксплуатации объекта от начала его применения до наступления предельного состояния». При применении показателей долговечности указывают начало отсчета и вид действий после наступления предельного состояния (например, гамма-процентный ресурс от капитального ремонта до списания или второго капитального ремонта). Как следует из определения, долговечность определяют по суммарной наработке объекта (пробег тыс. км), прерываемой периодами для восстановления его работоспособности в плановых и неплановых ремонтах и техническом обслуживании.

Необходимо различать показатели долговечности от внешне сходных с ними «назначенных» сроков службы. Цель установления «назначенного» срока службы и назначенного «ресурса» – обеспечить принудительное и заблаговременное прекращение применения объекта из требований безопасности или технико-экономических соображений. В общем можно определить следующие сроки машины: фактический – до первого капитального ремонта; экономический – определяемый затратами на ремонт и эксплуатацию; гарантированный – определяемый сроком предъявления претензий и бесплатного (гарантированного) ремонта; срок службы, определяемый моральным износом; амортизационный – определяемый нормами амортизационный отчислений; оптимальный – определяемый теоретически исходя из тех или иных представлений об оптимуме. Видимо, для автомобилей, автобусов и внедорожной техники, поставляемых с неясным сроком эксплуатации, следует определять оптимальный срок службы исходя из экономических соображений.

В качестве критерия оптимизации при решении поставленной задачи выбирают минимум удельных суммарных затрат на техническое обслуживание, ремонт машины и компенсацию потерь из-за снижения производительности и повышения расхода горюче-смазочных материалов вследствие износа деталей.

В настоящее время наибольшее распространение получили модели оптимизации [3; 4], в основе которых лежит целевая функция $C(\tau)$, которая должна быть минимизирована:

$$C(\tau) = \frac{v_c(\tau)}{M} \cdot \frac{C_{d.c} + C_r + C_{c.l.}}{T} + \sum_i \frac{C_{mi}}{\tau_{mi}} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $v_c(\tau)$ – число ремонтных циклов за срок службы машины до списания; $C_{d.c.}$ – средняя величина амортизационных отчислений за один ремонтный цикл машины; C_r – затраты на устранение отказов и неисправностей машины в процессе ремонтов за один ремонтный цикл; $C_{c.l.}$ – затраты на компенсацию потерь вследствие снижения производительности и увеличения расхода смазочных материалов при износе деталей машины в течение одного ремонтного цикла; C_{mi} – затраты на техническое обслуживание одной машины; M – коэффициент; T – ресурс до первого капитального ремонта; τ_{mi} – периодичность технического обслуживания одной машины.

В выражении (1) коэффициент M определяется следующим образом:

$$M = 1 + K_r [v_c(\tau) - 1],$$

где K_r – коэффициент, равный отношению ресурса после капитального ремонта к ресурсу новой машины: $K_r = T' / T < 1$; T' – ресурс после капитального ремонта.

Безусловно, из зависимости (1) достаточно полно можно прогнозировать долговечность машины, если известны все составляющие ($v_c(\tau)$, $C_{d.c.}$, C_r , $C_{c.l.}$, C_{mi} , M , T , τ_{mi}), что легко определяется только для новой машины. Однако для машины, которая эксплуатировалась какое-то время за рубежом, найти такие исходные данные не представляется возможным.

Рассмотрим один из возможных вариантов прогнозирования оптимального срока службы автомобиля или автобуса по данным статистического анализа. Для этого введем расчет удельных затрат C_{rT} (размерность этой величины тысяча рублей на один километр пробега), куда входят суммарные затраты на приобретение изделия, средняя величина амортизационных отчислений, затраты на устранение отказов и неисправностей машины в процессе ремонтов, затраты на техническое обслуживание одной машины, затраты на компенсацию потерь в период ремонта, стоимость горючего и смазочных материалов, накладные расходы (эксплуатация зданий и сооружений, заработная плата обслуживающего персонала).

Аналогично введем понятие об удельных доходах C_{in} (суммарные доходы в рублях на тысячу километров пробега). На начальном участке $C_{in} = 0$, а после некоторой наработки доходы в рублях на тысячу километров пробега возрастают.

Для сопоставления этих величин по аналогии с условными показателями, предложенными К.П. Чудаковым¹ [8; 9], введем комплексные условные показатели долговечности в форме:

¹ Условные показатели, предложенные К.П. Чудаковым, равны: первый – K_d отношению цены машины к средней цене деталей машины, заменяемых в течение года, а второй – $1/K_d$.

$$K'_{rT} = \frac{\tilde{N}_{rT}}{\tilde{N}_{in}};$$

$$K''_{in} = \frac{\tilde{N}_{in}}{\tilde{N}_{rT}}.$$

Если построить графики изменения коэффициентов K'_{rT} ; K''_{in} в зависимости от пробега автобусов (рисунок), то $K'_{rT} \rightarrow \infty$ (в начале координат, поскольку пробег пока отсутствует). По мере увеличения времени эксплуатации (увеличения пробега) C_{rT}/C_{in} уменьшается, пока не остается почти постоянным в течение длительного времени нормальной эксплуатации. После некоторой наработки это соотношение возрастает вследствие износа, а также из-за увеличения механических потерь, вызванных старением деталей и узлов машины. График изменения K'_{rT} аналогичен графику интенсивности отказов от времени наработки при расчете надежности [5–7]. Коэффициент K''_{in} на начальном этапе равен нулю, а после некоторого пробега, когда доходы возрастают, а расходы уменьшаются, $K'_{rT} = K''_{in} = 1$ (точка А на рис. 1). Далее на длительном участке доходы превышают расходы $C_{in} > C_{rT}$, а значит $K''_{in} > K'_{rT}$, пока после длительного срока эксплуатации снова $K'_{rT} = K''_{in} = 1$ (точка В на рис. 1). Мы не рассматриваем тот предельный случай, когда $K''_{in} < K'_{rT}$, поскольку в таком случае эксплуатация таких машин из экономических соображений нецелесообразна.

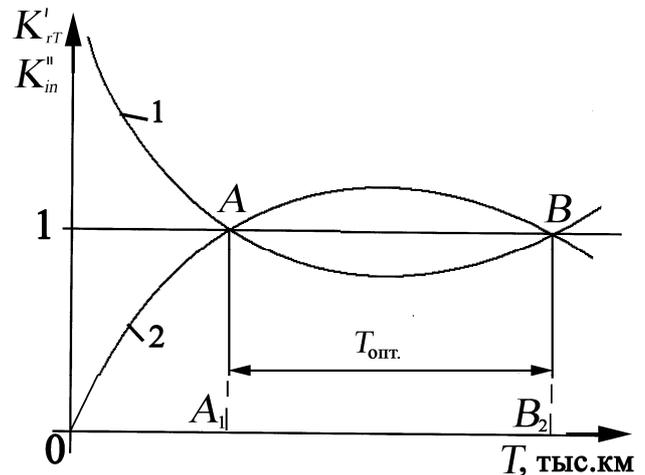


Рис. 1. К определению долговечности машин по безразмерным коэффициентам.

Наконец, после некоторых лет эксплуатации, когда $C_{in} = C_{rT}$, а $K'_{rT} = K''_{in} = 1$, эксплуатация таких машин должна быть остановлена. Длительность пробега машины между периодами, когда $K'_{rT} = K''_{in} = 1$, и определяет оптимальную долговечность машины T , поскольку на этом участке $C_{in} \geq C_{rT}$. Заметим, что экономическая целесообразность использования машин зависит также от соотношения отрезков OA_1 и A_1B_2 (рис. 1). Наиболее оптимальное соотношение $A_1B_2 > OA_1$.

По результатам наблюдений за рядом машин можно определить среднее значение долговечности \bar{T} и доверительные интервалы.

Такой расчет оптимальной долговечности можно использовать при прогнозировании срока службы, норм амортизационных отчислений, потребности в машинах, запасных частях, капитальных и других ремонтов.

Конечно, этот срок службы мало отличается от оптимального, определяемого в основном амортизационными затратами на запасные части, поскольку эти затраты увеличиваются с возрастанием срока службы. При таком расчете затраты на текущие ремонты, на сборку и разборку в процессе капитальных ремонтов, топливо и смазочные материалы, а также заработную плату обслуживающего персонала принимаются постоянными, независящими от срока службы машин. Так как эти затраты естественно не остаются постоянными, то при использовании коэффициентов K'_{rT} ; K''_{in} возможна быстрая корреляция на действительные затраты.

Список литературы

1. Хазов Б.Д., Дидусев Б.А. Справочник по расчету надежности машин на стадии проектирования. – М. : Машиностроение, 1986. – 224 с.
2. Машиностроение. Энциклопедия. Надежность машин. Т. IV-3 / В.В. Ключев, В.В. Болотин, Ф.Р. Соснин и др. ; под общ. ред. В.В. Ключева. – 2003. – 592 с.
3. Зорин В.А. Основы долговечности строительных и дорожных машин. – М. : Машиностроение, 1986. – 248 с.
4. Шейнин А.М., Шейнин В.А. Алгоритмы и программы решения оптимальных задач надежности машин. – М. : МАДИ, 1981. – 112 с.
5. Биргер И.А. и др. Расчет на прочность деталей машин : справочник / И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иосилевич. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1993. – 640 с.
6. Николаенко А.В., Хватов В.Н. Расчет и экспериментальная оценка надежности автотракторных дизелей. – Л. : Агропромиздат, Ленигр. отд-ние, 1985. – 136 с.
7. Райзер В.Д. Методы теории надежности в задачах нормирования расчетных параметров строительных конструкций. – М. : Стройиздат, 1986. – 192 с.
8. Чудаков К.П. Стандартизация показателей надежности и долговечности машин // Стандартизация. – 1964. – № 6. – С. 12-13.
9. Елизаветин М.А. Повышение надежности машин. – М. : Машиностроение, 1968. – 267 с.

Рецензенты

Гаврилов А.А., д.т.н., профессор кафедры «Тепловые двигатели и энергетические установки» ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых» Министерства образования и науки, г. Владимир.

Кульчицкий А.Р., д.т.н., профессор, зам. Главного конструктора по испытаниям ООО «Владимирский моторо-тракторный завод», г. Владимир.